

# ГЕОГРАФІЧНИЙ ЖУРНАЛ УКРАЇНСЬКИЙ

UKRAINIAN GEOGRAPHICAL JOURNAL



1 (133)  
2026



Засновники  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОГРАФІЇ НАН УКРАЇНИ

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

Головний редактор **Л. Г. РУДЕНКО**, д-р геогр. наук, проф.; акад. НАН України; Інститут географії НАН України  
Перший заступник **А. А. МОЗГОВИЙ**, науковий редактор; д-р геогр. наук, проф.; Інститут географії НАН України  
головного редактора **С. А. ЛІСОВСЬКИЙ**, д-р геогр. наук, проф.; чл.-кор. НАН України; Інститут географії НАН України  
Заступник **Є. І. СТЕЦЕНКО**, Інститут географії НАН України  
головного редактора  
Радник редколегії

*Члени редколегії:*

**СТЕНЛІ БРАНН**, д-р, проф.; Університет Кентукі (Сполучені Штати Америки)  
**І. В. ГУКАЛОВА**, д-р геогр. наук; проф.; Інститут географії НАН України  
**Л. М. ДАЦЕНКО**, д-р геогр. наук, проф.,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
**МАРЕК ДЕГОРСЬКІ**, д-р, проф.; Інститут географії та просторової організації  
Польської академії наук (Республіка Польща)  
**Г. І. ДЕНИСИК**, д-р геогр. наук, проф.; Вінницький державний педагогічний університет  
імені Михайла Коцюбинського  
**М. Д. ЗАЯЧУК**, д-р геогр. наук; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
**ВЛАДІМІР ІРА**, д-р, проф.; Інститут географії Словацької академії наук (Словацька Республіка)  
**ПЕТЕР ЙОРДАН**, проф., Інститут міських і регіональних досліджень  
Австрійської академії наук (Австрійська Республіка)  
**СЕБАСТЬЯН ЛЕНЦ**, д-р, проф.; Інститут регіональної географії імені Лейбніца (Федеративна Республіка Німеччина)  
**Є. О. МАРУНЯК**, д-р геогр. наук, чл.-кор. НАН України; Інститут географії НАН України  
**Ж. М. МАТВІШІНА**, д-р геогр. наук, проф.; Інститут географії НАН України  
**В. П. НАГІРНА**, д-р геогр. наук, проф.; Інститут географії НАН України  
**В. І. ОСАДЧИЙ**, д-р геогр. наук, акад. НАН України; Український гідрометеорологічний інститут  
СНС України та НАН України  
**Ю. М. ПАЛЕХА**, д-р геогр. наук, проф.; Державне підприємство «Український державний науково-дослідний інститут  
проекування міст «ДІПРОМІСТО» імені Ю. М. Білокопя  
**В. А. ПЕРЕСАДЬКО**, д-р геогр. наук, проф.; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
**В. М. ПЕТЛІН**, д-р геогр. наук, проф.; Волинський національний університет імені Лесі Українки  
**С. І. ПИРОЖКОВ**, д-р екон. наук, проф., акад. НАН України; віце-президент НАН України  
**Г. П. ПІДГРУШНИЙ**, д-р геогр. наук, проф.; Інститут географії НАН України  
**О. М. ПОНОМАРЕНКО**, д-р геол. наук, проф.; акад. НАН України; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
імені М. П. Семененка НАН України  
**С. М. СТЕПАНЕНКО**, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Інститут ринку та економіко-екологічних  
досліджень НАН України  
**І. Г. ЧЕРВАНЬОВ**, д-р техн. наук, проф.; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

*Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів*

«Український географічний журнал» включено до Переліку наукових фахових видань України  
в галузі географічних наук за спеціальностями 103, 106.

Категорія «А» (наказ Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28 грудня 2019 р.),  
індексується в *Google Scholar, CrossRef Database, Ulrich's Periodicals Directory, Scopus*

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту географії НАН України 12.03.2026 р.

**Адреса редакції:**

01054, Київ, вул. Володимирська, 44, Інститут географії НАН України

Телефон: +380(44)234-04-92

E-mail: [geojournal@ukr.net](mailto:geojournal@ukr.net)

**Офіційний сайт журналу:** <https://ukrgeojournal.org.ua>

# Г У КРАЇНСЬКИЙ ЕОГРАФІЧНИЙ Ж Ж УРНАЛ

UKRAINIAN  
GEOGRAPHICAL  
JOURNAL

1 (133)  
2026

ISSN-L 1561-4980

НАУКОВО-  
ТЕОРЕТИЧНИЙ  
ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНИЙ  
У 1992 Р.

ВИХОДИТЬ  
4 РАЗИ НА РІК

КИЇВ

Ідентифікатор медіа: R30-03064

## ЗМІСТ

### Актуальна тема

Маруняк Є. О., Чехній В. М. Наукові здобутки співробітників Інституту географії НАН України у 2025 році . . . . . 3

### Природничо-географічні дослідження

Степаненко С. М. Вплив контрольованого вилучення самосадної солі на водно-сольовий режим Куяльницького лиману . . . . . 8

Корогода Н. П., Купач Т. Г., Галаган О. О. Оцінка екосистемних послуг з пом'якшення впливу островів тепла, що надаються міськими зеленими зонами Києва . . . . . 19

Імамвердієв Н. С. Оцінювання потенціалу вітрової енергетики в Азербайджані (на прикладі поселення Шорабаді, Хизинський район) . . . . . 28

Батур М. О., Сельбесоглу М. О. Дослідження поширення вулканічного шлейфу і впливу осадження попелу на альbedo снігу в Антарктиді . . . . . 41

## CONTENTS

### Actual Subject

Maruniak, E. O., & Chekhniy, V. M. Scientific Achievements of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2025. . . . . 3

### Natural and Geographical Research

Stepanenko, S. M. On the Impact on the Water-Salt Regime of the Kuyalnyk Estuary of Restoring Controlled Harvesting of Self-Deposited Salt on an Isolated Platform . . . . . 8

Korohoda, N. P., Kupach, T. G., & Halahan, O. O. Assessment of Heat Reduction Ecosystem Services by Urban Green Spaces of Kyiv. . . . . 19

Imamverdiyev, N. S. Assessing Wind Energy Potential in Azerbaijan (Case of Shorabad Settlement, Khizi District). . . . . 28

Batur, M. O., & Selbesoğlu, M. O. Investigating Volcanic Plume Dispersion and Ash Deposition Effects on Snow Albedo in Antarctica . . . . . 41

## Картографія і геоінформатика

*Іваненко Є. І.* Картографічна база даних потенційних заповідних ділянок (на прикладі Подільсько-Придніпровського лісостепового краю) . . . . . 55

*Ісаєв Д. В., Лепетюк В. Б., Остроух В. І.* «Атлас учителя історії» — сучасний погляд на історичне картографування . . . . . 66

## Географічна освіта

*Ровенчак І. І., Біланюк В. І., Котик Л. І., Гудзеляк І. І.* Львівські наукові географічні школи: від витоків і становлення до інституціоналізації. . . . . 75

*Бондаренко Е. Л., Дудун Т. В.* Сучасні виклики використання засобів штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні. . . . . 86

*Нургазіна А., Сергєєва А., Омїрзакова М., Равшанов А., Ібрагімов Л., Усманов М.* Бар'єри і драйвери інтеграції штучного інтелекту в географічну освіту: порівняльне дослідження Казахстану та Узбекистану. . . . . 102

*Яценко В. С.* До методики вивчення гляціологічних проблем ХХІ століття в освітній практиці. . . . . 116

## Вітаємо

*До 90-річчя  
Петра Григоровича Шищенка. . . . . 128*

*До 90-річчя  
Євгенії Іванівни Стеценко . . . . . 130*

## Cartography and Geoinformatics

*Ivanenko, Ye. I.* Cartographic database of potential protected areas (Podilsko-Prydniprovskiyi forest-steppe region case study) . . . . . 55

*Isaiev, D. V., Lepetiuk, V. B., & Ostroukh, V. I.* “Teacher’s Atlas of History” — a Modern Look at Historical Mapping . . . . . 66

## Geography Education

*Rovenchak, I. I., Bilanyuk, V. I., Kotyk, L. I., & Hudzelyak, I. I.* Lviv Scientific Geographical Schools: To the Origins of Formation and Institutionalisation . . . . . 75

*Bondarenko, E. L., & Dudun, T. V.* Modern challenges of the use of artificial intelligence tools in the learning of cartography and geoinformatics specialists in Ukraine. . . . . 86

*Nurgazina, A., Sergeyeva, A., Omirzakova, M., Ravshanov, A., Ibragimov, L., & Usmanov, M.* Barriers and Drivers of artificial intelligence integration in Geographical education: a comparative Study of Kazakhstan and Uzbekistan . . . . . 102

*Yatsenko, V. S.* Towards a Methodology for Studying Glaciological Challenges of the 21st Century in Educational Practice . . . . . 116

## Congratulations

*To the 90th birthday of  
Petro Hryhorovych Shyshchenko . . . . . 128*

*To the 90th birthday of  
Yevhenia Ivanivna Stetsenko . . . . . 130*

Підп. до друку 13.02.2026. Формат 60 × 84 ½. Гарн. Minion Pro, Myriad Pro, AG Palatial.  
Ум. друк. арк. 15,63. Обл.-вид. арк. 13,42. Тираж 000 прим. Зам. № 0000.

Видавець і виготовлювач Видавничий дім «Академперіодика» НАН України  
01024, Київ, вул. Терещенківська, 4  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001

# Актуальна тема

## Actual Subject



DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.003>

Маруняк Є. О.

0000-0002-6743-6883

Чехній В. М.

0000-0003-1430-9175

Інститут географії Національної академії наук України, Київ

## Наукові здобутки співробітників Інституту географії НАН України у 2025 році

УДК 001.89:910.1]:001.32(477)ІГНАНУ"2025"(045)

Метою публікації є висвітлення основних наукових напрацювань Інституту географії НАН України за науково-дослідними роботами, проведеними у 2025 р. Особливу увагу приділено питанням оцінки впливів на навколишнє середовище, суспільним трансформаціям на всіх просторових рівнях, розширенню міжнародного співробітництва та адаптації європейського досвіду з урахуванням реалій російсько-української війни.

**Ключові слова:** географія, методологія, методи, рекомендації, російська агресія, впливи, наслідки.

У 2025 р. науковці Національної академії наук України продовжували формувати інтелектуальний фундамент резильєнтності країни, регіонів та громад в умовах військової агресії росії. Так, були успішними міждисциплінарні дослідження, і щодо підвищення обороноздатності України, і щодо пошуку стратегій її розвитку в умовах війни, підтримки європейської інтеграції. Очікувано, що значна увага приділялась ідентифікації та оцінюванню збитків для екосистем й антропогенізованого середовища, зокрема і з використанням ГІС технологій, у відповідності з трендом діджиталізації, а також настанов Зеленої угоди Європейського Союзу. Внесок географів був спрямований на вдосконалення методологічних і методичних підходів оцінювання територій із застосуванням різних типів даних, насамперед дистанційного зондування Землі. Формувались методики оцінювання впливу бойових дій на ландшафти, лесовий

покрив та ґрунти. У контексті забезпечення просторового розвитку аналізувалась еволюція просторових структур, що охоплювало понад сторічний період трансформації міської мережі України, а також сучасні трансформації міського простору, вивчались окремі аспекти забезпечення просторової справедливості. Відбувся обмін досвідом в рамках польсько-української експертної платформи з просторового планування, одним з результатів якого стало видання спільної монографії щодо міграційних процесів під час повномасштабної війни. Тривали роботи з впровадження принципів екологічного планування, зокрема з підтримання секторальних політик і освітнього процесу, з урахуванням політики окремих країн Європейського Союзу, насамперед Німеччини. Дискусії в географічних колах фокусувались також на майбутньому наук про Землю у довгостроковій перспективі, як інструменту просторового розвитку, що зорієн-

### Цитування:

Маруняк Є. О., Чехній В. М. (2026). Наукові здобутки співробітників Інституту географії НАН України у 2025 році. *Український географічний журнал*. 1, 3–7. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.003>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

тований на забезпечення збалансованого майбутнього України [1, 8].

Діяльність Інституту за попередні 5 років отримала високу оцінку за результатами держаної атестації наукових установ та закладів вищої освіти в частині провадження такими закладами наукової (науково-технічної) діяльності за науковим напрямом «Суспільний». Інститут географії НАН України було віднесено до групи «А» (наказ Міністерства освіти і науки України від 27 червня 2025 р. № 945).

У 2025 р. Інститут проводив дослідження за 11 науководослідними роботами.

За проектом, що виконувався за пріоритетним напрямом «Технології критичних корисних копалин, проблеми хімічного, радіаційного та біологічного моніторингу стану довкілля та його відновлення» на 2025–2026 рр. у межах бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230) на 2025–2026 рр. **«Об'єднаний інструментарій ландшафтного планування та дистанційного зондування Землі для комплексної оцінки стану довкілля України в умовах війни та повоєнного відновлення»** було розроблено методологію оцінювання стану екосистем із застосуванням об'єднаного інструментарію ландшафтного планування та дистанційного зондування Землі, з урахуванням міжнародного та національного досвіду (чл.-кор. НАН України Є. О. Маруняк, акад. НАН України Л. Г. Руденко, чл.-кор. НАН України С. А. Лісовський, В. М. Чехній, І. В. Гукалова, Р. О. Спиця, К. А. Поливач, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов та ін.).

За грантом НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки 2024–2025 рр. (КПКВК 6541230) **«Резильєнтність та потенціал відновлення аграрної сфери територіальних громад Київського Придніпров'я, що постраждали від російської агресії»** було обґрунтовано ключові фактори стійкості агросфери територіальних громад Київського Придніпров'я, що постраждали від російської агресії та визначено наукові засади для опрацювання шляхів їх повоєнного відновлення [2] (А. С. Кушнір, О. М. Лейберюк, В. М. Швайко, В. П. Молодика).

За проектом, що виконувався в рамках науково-дослідних робіт молодих учених НАН України

на 2025–2026 рр. **«Геопросторова оцінка впливу бойових дій на лесовий покрив України (у межах степової зони)»** було опрацьовано методологію оцінювання впливу бойових дій на наукову та геотуристичну цінність лесово-грунтових розривів, обґрунтовано можливість використання запропонованої методики для оцінювання впливу бойових дій на інші природні об'єкти (О. С. Бончковський, О. М. Лейберюк, В. М. Швайко).

За іншою відомчою тематикою, затвердженою Президією НАН України:

За темою **«Міська мережа України: зріз історичних змін і їх картографування з метою підвищення ефективності регіонального розвитку»** вперше за останні 125 років, спираючись на дані переписів населення і аналіз головних чинників впливу, було здійснено дослідження особливостей формування міської мережі України та виявлено тенденції змін в розселенні міського населення, що є основою для майбутніх робіт з відновлення України та забезпечення її повоєнного розвитку [7, 9] (акад. НАН України Л. Г. Руденко, А. І. Бочковська, О. М. Лейберюк, К. А. Поливач, М. М. Вишня та ін.).

За темою **«Ландшафти України в умовах війни: трансформації та шляхи відновлення»** було опрацьовано методологію дослідження впливів воєнних дій на ландшафти України, що ґрунтується на ландшафтознавчій та ландшафтно-екологічній інтерпретації вітчизняного та зарубіжного досвіду оцінки впливів війни на довкілля (В. М. Чехній, Л. Ю. Сорокіна, О. Г. Голубцов, Л. М. Тимуляк та ін.).

За темою **«Геоморфогенез урбанізованої природно-антропогенної системи м. Києва у поствоєнний період»** було здійснено оцінювання рельєфу та рельєфоутворювальних відкладів території м. Києва для екологоорієнтованого поствоєнного розвитку геоморфосистеми. Також було проведено великомасштабне картографування рельєфу урбанізованої геоморфосистеми території м. Києва як основи для проведення прикладних інженерно-геоморфологічних та еколого-геоморфологічних досліджень. Уточнено схему районування урбогеоморфосистеми території м. Києва за ступенем інженерно-геоморфологічного ризику (Р. О. Спиця, А. В. Матошко, О. Б. Багмет, О. С. Бончковський, М. Л. Антошук, Г. В. Романенко).

За темою **«Методологія поетапних реконструкцій природних умов рівнинної території»**

**України у четвертинному періоді та її реалізація в геоінформаційній системі»** було здійснено палеогеографічні інтерпретації результатів аналітичних досліджень за матеріалами обстежень археологічних та палеогеографічних пам'яток для відтворення палеогеографічних обставок плейстоцену і голоцену в межах модельних регіонів території України з використанням створеної веб-орієнтованої геоінформаційної системи «Paleo web-GIS» (Ж. М. Матвіїшина, А. С. Івченко, С. П. Дорошкевич, С. П. Кармазінченко, А. С. Кушнір).

За темою **«Функціональна структуризація території України та її зміни в умовах російської військової інтервенції»** було розроблено схему функціонально-територіальної структуризації господарства і розселення України та її трансформації в умовах повномасштабної війни. Також було опрацьовано методику визначення основних компонентів територіальної організації суспільства з використанням засобів дистанційного зондування Землі. Виділено, станом на 2022 р., 89 функціональних урбанізованих територій і здійснено їх типізацію за критеріями чисельності населення та площі, кількості ядер консолідації, співвідношення населення у них та в межах їхніх субурбій. Обґрунтовано рамкові рекомендації щодо вдосконалення функціональної спеціалізації господарських центрів [4, 6] (Г. П. Підгрушний, В. П. Нагірна, Н. І. Провотар, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, С. О. Остапенко, В. В. Бондар та ін.).

За темою **«Методологія забезпечення розвитку територіальних громад на засадах просторової справедливості»** було здійснено аналіз розвитку територіальних громад у вимірі просторової справедливості з урахуванням наслідків воєнних дій в Україні. Зокрема було визначено головні чинники, які призвели до поглиблення просторової несправедливості після початку повномасштабного вторгнення РФ. Також було виявлено відмінності в оцінках просторової справедливості мешканцями західного регіону України відносно респондентів з усіх територіальних громад України [3, 5] (чл.-кор. НАН України С. А. Лісовський, чл.-кор. НАН України Є. О. Маруняк, І. В. Гукалова, А. А. Мозговий, С. А. Покляцький, О. Л. Дронова, Т. А. Гринюк, І. В. Патока та ін.).

За договором з Міністерством освіти і науки України **«Комплексне наукове дослідження**

**концептуалізації просторової трансформації України в умовах війни та повоєнного відновлення»** Обґрунтовано методику тематичних геоморфологічних та палеогеографічних досліджень, проведено польові геоморфологічні та палеогеографічні дослідження в межах окремих територіальних громад Київського Придніпров'я, які зазнали пошкоджень внаслідок воєнних дій. Охарактеризовано рельєф, рельєфоутворювальні відклади та процеси районів досліджень, їх трансформації внаслідок воєнних дій. Розроблено структуру бази даних моніторингових досліджень стану рельєфу та ґрунтового покриву, пошкоджених внаслідок воєнних дій. Створено просторові бази даних населених пунктів України, що зазнали військового впливу, визначено його види й тривалість. На основі даних ACLED підраховано кількість подій і створено серію карт, які відображають масштаби та інтенсивність руйнувань. Визначено основні чинники впливу війни на ландшафти та їх механічні, фізичні та хімічні форми прояву в ландшафті на рівні окремих компонентів та ландшафту у цілому. Опрацьовано і узагальнено досвід відбудови країн, територія яких в минулому (далекому чи відносно недавньому) була ареною воєнних дій, або зазнавала бомбардувань і ракетних обстрілів. Здійснено роботи з розробки методики використання супутникової інформації для визначення функціональних урбанізованих територій, як основних форм територіальної організації суспільства (чл.-кор. НАН України Є. О. Маруняк, чл.-кор. НАН України С. А. Лісовський, акад. НАН України Л. Г. Руденко, Г. П. Підгрушний, В. М. Чехній, Р. О. Спиця, С. П. Дорошкевич та ін.).

Протягом 2025 р. співробітники Інституту отримали свідоцтва про державну реєстрацію таких об'єктів права інтелектуальної власності:

- збірка карт з описом "Electronic atlas «Ukraine. Cultural Landscape Heritage» (К. А. Поливач, В. С. Чабанюк, В. І. Подвойська);
- збірка картографічних творів «Механічний вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив орних земель окремих територіальних громад Київської області (Бучанська, Великодиммерська та Макарівська ТГ)» (А. С. Кушнір, О. М. Лейберюк, В. М. Швайко);
- комп'ютерна програма «Веб-орієнтована геоінформаційна система палеогеографіч-

них досліджень України» (Ж. М. Матвіїшина, С. П. Дорошкевич, С. П. Кармазиненко, О. В. Мацібора, [А. С. Івченко](#), А. С. Кушнір);

- наукові статті «Просторова справедливість: географічна концептуалізація в умовах війни в Україні» (Є. О. Маруняк, С. А. Лісовський, І. В. Гукалова, А. А. Мозговий, С. А. Покляцький, О. В. Горміз) та «Інклюзивність та екологічні пріоритети міського розвитку як складові якості життя населення (прикладні моделі міст)» (Є. О. Маруняк, С. А. Лісовський, І. В. Гукалова, А. А. Мозговий, С. А. Покляцький,).

Інститут географії НАН України був спів-організатором міжнародних науково-практичних заходів, що проводились в 2025 р., зокрема:

- онлайн-події «ГеоВатра» у рамках глобальної ініціативи Міжнародного географічного союзу «GeoNight» (у співпраці з Чернівецьким національним університетом імені Юрія Федьковича);

- V Міжнародної науково-практичної конференції «Географічна наука та освіта: перспективи й інновації» (у співпраці з Університетом Григорія Сковороди в Переяславі);

- Міжнародного семінару «Європейський досвід розробки освітніх програм з екологічного планування та їх впровадження в Україні» (у співпраці з Берлінським технічним університетом);

- Міжнародного науково-практичного семінару «Архіви природи Центральної та Східної Європи: від гелазію до антропоцену» (у співпраці з Чернівецьким національним університетом імені Юрія Федьковича, Національним природним парком «Хотинський» та ГО «Наука і природа»).

Детальніше про ці заходи — на офіційних веб-сторінках НАН України та Інституту географії НАН України: <https://www.nas.gov.ua/> та <https://igu.org.ua/>

У 2025 р. за участі науковців Інституту було підготовлено і вийшли в світ такі видання:

1. Komornicki, T., Wisniewski, R., Jakubowski, A., Szejgiec-Kolenda, B., Maruniak, E. (2025). *Cross-border Mobility in Eastern European Union Countries : External Shocks and Regional Resilience*. Published by Routledge. 300 p. ISBN 1032701757 / 9781032701752.

2. Маруняк Є. О., Дідух Я. П., Лісовський С. А. та ін. (2025). *Геоінформаційна система з просторового оцінювання деградації довкілля України внаслідок російської агресії*. Під ред. Є. О. Маруняк. К. 115 с. ISBN 978-617-14-0494-6.

3. Краковський С. (2025). *Електронні атласи: тенденції розвитку та методологія дослідження*. Ін-т географії НАН України. Київ: ТОВ «Прінтту». 268 с. ISBN 978-617-8754-23-5.

### Література [References]

1. Gukalova, I. V., Dronova, O. L., Lisovskyi, S. A., Maruniak, Ye. O., Mozhovyi, A. A., Pidgrushnyi, G. P., Rudenko, L. G. et al. (2025). Geography in 2050 — the Vision of Ukrainian Scientists. *Ukrainian Geographical Journal*. 3(131): 20–30. [In Ukrainian]. [Гукалова І. В., Дронова О. Л., Лісовський С. А., Мальчикова Д. С., Маруняк Є. О., Мозговий А. А., Підгрушний Г. П., Руденко Л. Г. та ін. (2025). Географія у 2050 році — бачення науковців України. *Український географічний журнал*. 3. 20–30]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.020>.
2. Rudenko, L. H. (2025). New Ways to Update Geography — Introduction from Editor-in-Chief. *Ukrainian Geographical Journal*. 3(131): 3–8. [In Ukrainian.] [Руденко Л. Г. (2025). Про майбутнє географії — слово головного редактора. *Український географічний журнал*. 2025. 3. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.003>.
3. Gukalova, I. V., Pokliatskyi, S. A., Leiberiuk, O. M., Shvaiko, V. M., & Kushnir, A. S. (2025). Social Preconditions for the Transformation of Household Farming Practices in Communities of Kyiv Prydniprovya Region During the War. *Ukrainian Geographical Journal*, 4. 65–80. [In Ukrainian] [Гукалова І. В., Покляцький С. А., Лейберюк О. М., Швайко В. М., Кушнір А. С. (2025). Соціальні передумови змін аграрної практики домогосподарств в окремих громадах Київського Придніпров'я. *Український географічний журнал*, 4. 65–80. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.04.065>.
4. Polyvach, K. A. (2025). Electronic Atlas “Ukraine. Cultural And Landscape Heritage”: Conceptual Foundations and Experience of Creation. *Ukrainian Geographical Journal*. 1. 62–75. [In Ukrainian.] [Поливач К. А. (2025). Електронний атлас «Україна. Культурно-ландшафтна спадщина»: концептуальні засади та досвід створення. *Український географічний журнал*. 1. 62–75. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.062>.
5. Rudenko, L. G., Bochkovska, A. I., Leiberiuk, O. M., & Vyshnia, M. M. (2025). Regional Features of Changes in the Number and Density of the Urban Population of Ukraine for 125 Years (Cartographic Analysis). *Ukrainian Geographical Journal*, 4. 81–89. [In Ukrainian.] [Руденко Л. Г., Бочковська А. І., Лейберюк О. М., Вишня М. М. Регіональні зміни розселення міського населення України за 125 років (картографічний аналіз трендів). *Український географічний журнал*. 4. 81–89.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.04.081>.

6. Nahirna, V. P., Rudenko, L. H. (2025). Spatial and Functional Dynamics of Suburban and Rural Zones in the Kyiv Metropolitan Area amid Global and Military Challenges. *Ukrainian Geographical Journal*. 2. 47–58. [In Ukrainian.] [Нагірна В. П., Руденко Л. Г. (2025). Зміни у функціональній визначеності приміської сільської місцевості Київського метрополіса в умовах глобальних трансформацій і воєнних викликів. *Український географічний журнал*. 2. 47–58.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.02.047>.
7. Pidgrushnyi, G. P., Yelistratova, L. O., Apostolov, O. A., & Provotar, N. I. (2025). The Use of Satellite Information in the Study of the Spatial Organization of Society. *Ukrainian Geographical Journal*. 3. 51–60. [In Ukrainian.] [Підгрушний Г. П., Єлістратова Л. О., Апостолов О. А., Провотар Н. І. (2025). Використання супутникової інформації у дослідженні територіальної організації суспільства. *Український географічний журнал*. 3. 51–60.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.051>.
8. Melnychuk, G. V., & Dronova, O. L. (2025). Integrated Urban Development: Organization of Communications within the Planning Process. *Ukrainian Geographical Journal*. 3(131): 61–74. [In Ukrainian.] [Мельничук Г. В., Дронова О. Л. (2025). Інтегрований міський розвиток: організація комунікацій в рамках планувального процесу. *Український географічний журнал*. 3. 61–74.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.061>.
9. Patoka, I. V., Krusanov, D. A. (2025). Indication of Spatial Justice through the Accessibility of Social Services: Contemporary German Experience. *Ukrainian Geographical Journal*. 3(131): 87–97. [In Ukrainian.] [Патока І. В., Крусанов Д. А. (2025). Індикація просторової справедливості через доступність соціальних послуг: сучасний досвід Німеччини. *Український географічний журнал*. 3. 87–97.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.087>.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2026,  
прийнята до друку 20.01.2026.

Maruniak, Eu. O.

 0000-0002-6743-6883

Chekhniy V. M.

 0000-0003-1430-9175

Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## Scientific Achievements of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2025

UDC 001.89:910.1]:001.32(477)IGNASU"2025"(045)

The purpose of the publication is to highlight the main scientific achievements of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine on research work carried out in 2025. Particular attention is paid to the issues of environmental impact assessment, social transformations at all spatial levels, expansion of international cooperation and adaptation of European experience considering the realities of the Russia-Ukraine war.

**Keywords:** *geography, methodology, methods, recommendations, Russian aggression, impacts, consequences.*

### For citation:

Maruniak, Eu. O., & Chekhniy, V. M. (2025). Scientific Achievements of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2025. *Ukrainian Geographical Journal*. 1. 3–7. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.003>

Copyright © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

# Природничо-географічні дослідження

## Natural and Geographical Research

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.008>

Степаненко С. М.

0000-0002-6343-3968

Інститут ринку та економіко-екологічних досліджень Національної академії наук України, Одеса

### Вплив контрольованого вилучення самосадної солі на водно-сольовий режим Куяльницького лиману

УДК 556.5:551.468.6:504.05:661.422(477.74)(045)

У роботі кількісно оцінено потенційний вплив експлуатації відгородженого майданчика для збору самосадної солі на водно-сольовий режим Куяльницького лиману (Одеська область). Розроблено та застосовано сезонну (травень-жовтень) рекурентну модель водно-сольового балансу з явним «резервуаром твердої солі» з використанням наявних даних спостережень. Майданчик площею 10 га розглянуто як локальний випарник з робочою глибиною 0,25 м, двома літніми циклами роботи та пониженням рівня стовпчика ропи в кожному циклі до  $h_i = 0,02$  м з подальшим поповненням ропою з основної акваторії через відкритий прохід до вирівнювання рівнів. Показано, що за прийнятого сценарію річне вилучення солі становить близько 11,0 тис. т, що відповідає зменшенню середньої солоності великої акваторії приблизно на 0,2‰ за рік за умов подачі морської води  $\sim 10$  млн м<sup>3</sup> у холодний сезон. Виявлено, що ефект змішування після кожного циклу не є самостійним чинником опріснення; зменшення солоності зумовлене саме вилученням твердих солей. Сформульовано рекомендації щодо сезонної експлуатації відокремленого майданчика та мінімізації ризиків для гідро-екологічного стану лиману.

**Ключові слова:** Куяльницький лиман; водний баланс; сольовий баланс; гіперсолоні водойми; самосадна сіль; випаровування; рекурентна модель; гідроекологічне управління.

#### Актуальність теми дослідження

Куяльницький лиман є унікальною гіперсолонною лагунною водоймою Північно-Західного Причорномор'я з високою рекреаційною та бальнеологічною цінністю. Упродовж останніх десятиліть водно-сольовий режим лиману зазнає значного антропогенного та кліматичного впливу: катастрофічно зменшується приплив прісних вод із водозбору, зростають втрати на випаровування, змінюються морфометричні характеристики та збільшується мінералізація ропи до рівнів 350‰

і вище [1–2]. У таких умовах можливе винесення солей з оголеного дна вітром і засолення прибережних земель [3]. Починаючи з грудня 2014 р. у холодний сезон запроваджено регульовану подачу морської води для підтримання рівня лиману та пом'якшення його осолонення [2]. Подача морської води розглядалася як тимчасовий вимушений захід на час відновлення повноцінного живлення лиману прісною водою [4–5]. Але досі жодний захід з відновлення живлення прісною водою не був здійснений. Тому подача морської

#### Цитування:

Степаненко С. М. (2026). Вплив контрольованого вилучення самосадної солі на водно-сольовий режим Куяльницького лиману. *Український географічний журнал*. 1, 8–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.008>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

води протягом останніх 11 років залишається основним джерелом балансування водного режиму Куяльницького лиману, і за час такого експлуатаційного режиму до лиману надійшло приблизно 1,2–1,5 млн тон морської солі, що викликає обґрунтовані побоювання [6] щодо негативного впливу такого збільшення кількості солі в лимані на 12–15 % від стану 2014 р.

Разом з тим, в акваторії лиману історично існували солепромисли, тому науковцями [1–6] з початку обговорення проекту подачі морської води в лиман пропонується відновлення контрольованого вилучення самосадної солі як одного із потенційних інструментів управління сольовим балансом Куяльницького лиману. Однак в науковій літературі досі немає жодних кількісних оцінок можливого впливу на водно-сольовий режим Куяльницького лиману відновлення контрольованого вилучення самосадної солі на відокремленій ділянці (майданчику) лиману.

**Метою роботи** є кількісне оцінювання впливу на водно-сольовий режим Куяльницького лиману відновлення контрольованого вилучення самосадної за рахунок створення відокремленої ділянки (майданчику) умовною площею 10 га, за допомогою розробленої двосезонної рекурентної моделі (травень–жовтень) з явним «резервуаром твердої солі»; кількісне оцінювання впливу експлуатації відгородженого майданчика площею 10 га на сольовий баланс та середню мінералізацію Куяльницького лиману. Окремо розглянуто інженерну модель літнього режиму роботи майданчика і роль змішування ропи в двох водоймах після кожного циклу вилучення самосадної солі.

### Методи дослідження

При розробці моделі календарний рік було поділено на два інтегральні сезони: холодний (Ост → Май(1)) та теплий (Май(2) → Сер). У холодний сезон домінують процеси поповнення лиману водою — в ньому зосереджена регульована подача морської води (грудень–квітень), а також основна частина атмосферних опадів і прісного стоку з водозбору. Жовтень у цьому поділі досить умовно віднесено до холодного періоду як перехідний місяць початку сезону поповнення лиману водою. У теплий сезон домінують втрати на випаровування, а частина північної мілководної акваторії може пересихати, що зменшує ефективну площу випаровування. Травень розглядається в моделі як перехідний: перша

половина травня віднесена до холодного періоду (продовження поповнення), а друга половина — до теплого періоду (початок інтенсивного випаровування); опади травня поділено порівну між цими кроками.

Для розрахунків застосовано сезонно-усереднену балансову «box-модель» (модель зосереджених параметрів), у якій водно-сольовий режим Куяльницького лиману описується системою взаємодіючих резервуарів. У холодний сезон лиман розглядається як один змішаний резервуар із характерними сезонними притоками/втратами. У теплий сезон система розглядається як два окремі резервуари: основна акваторія лиману та відокремлений майданчик керованого вилучення самосадної солі, розділені дамбою. Протягом теплого сезону майданчик працює циклічно за схемою «ізоляція → випаровування та кристалізація → вилучення осадженої солі → короткочасне сполучення з основною акваторією для вирівнювання рівнів», після чого цикл повторюється. Модель є рекурентною, тобто задає відображення «перший стан системи → другий стан системи» між контрольними моментами року (жовтень – травень – жовтень) і може багаторазово застосовуватися для послідовних річних



Рис. 1. Розташування об'єкта дослідження (знімок з Google Earth [earth.google.com])

циклів, що дозволяє оцінювати як сезонні зміни, так і багаторічний тренд середньої солоності.

На відміну від детальних гідродинамічних чисельних моделей (2D/3D), які розв'язують рівняння руху та перенесення з малим кроком часу і відтворюють просторову неоднорідність (зокрема підходів на базі Delft3D-FLOW [7]), запропонована сезонна рекурентна схема є прозорою спрощеною конструкцією для швидкої перевірки сценаріїв водно-сольового балансу та кількісної оцінки внеску керованого вилучення самосадної солі (через член  $G$  у рівнянні «резервуара твердої солі»), а також ролі змішування між основною акваторією та майданчиком після кожного циклу. Таким чином, призначення сезонної рекурентної схеми — не заміна 3D-моделювання, а інтегральна оцінка масштабу ефектів і аналіз впливу ключових параметрів для інженерно-управлінських рішень.

### Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

#### Район дослідження та його характеристики за даними досліджень

Куюльницький лиман, розташований на північ від м. Одеса, відокремлений від Чорного моря піщаним пересипом. Він належить до водойм із сильно вираженою сезонною мінливістю рівня, площі водного дзеркала та мінералізації ропи (див. *рис. 1*). У різних літературних джерелах площа акваторії лиману та його середня глибина подаються з істотними відмінностями. Так, за даними роботи [8] площа акваторії лиману залежно від рівня води коливається в межах 19–74 км<sup>2</sup>, а його середня глибина ( $h_p$ ) оцінюється в межах до  $\approx 1$  м. У той же час, за узагальненнями робіт [9, 10] характерний діапазон водного дзеркала лиману становить 25–60 км<sup>2</sup>, а середня товща води не перевищує приблизно 0,30–0,70 м; в окремі роки фіксується випадання солей в осад на дно.

Через таку мінливість характеристик для параметризації водного балансу в роботі використано дані останнього комплексного обстеження Куюльницького лиману за 2021 р. [2]: середня площа водної поверхні лиману  $\bar{A} \approx 41,5$  млн м<sup>2</sup>, випаровування з водної поверхні  $E_B = 22,7$  млн м<sup>3</sup>, а сумарне надходження води — 37,7 млн м<sup>3</sup>, зокрема: атмосферні опади — 19,8 млн м<sup>3</sup>, морська

вода — 10,4 млн м<sup>3</sup> та інші притоки — 7,5 млн м<sup>3</sup>. За таких умов рівень ропи у лимані протягом 2021 р. зріс на  $\sim 0,12$  м.

Зазначимо, що наведена у [2] «середня площа водної поверхні» ( $\approx 41,5$  км<sup>2</sup>) є річним усередненням для 2021 р. Тому у сценарних розрахунках для теплого сезону року в роботі додатково використано ефективну площу дзеркала  $\bar{A} \approx 39,65$  км<sup>2</sup>, що відображає сезонне зменшення акваторії через літнє підсихання (переважно північної частини лиману).

Оцінювання солевнесення морською водою виконано за даними монографії [1]: у період 22 грудня 2014 — 20 квітня 2015 р. до лиману надійшло 10,109 млн м<sup>3</sup> морської води із середньою мінералізацією 13,43 г/дм<sup>3</sup>, що відповідає надходженню солей масою 0,136 млн т. Для спрощення розрахунків будемо вважати, що щорічно до Куюльницького лиману з морською водою надходить саме така кількість солі.

Вплив мінералізації ропи на випаровування враховано параметрично [1]. У загальному випадку для гіперсолоних водойм інтенсивність випаровування зменшується порівняно з прісною водою, що може бути описано солонісною поправкою ( $f(S)$ ):

$$E = E_0 \times f(S),$$

де  $0 < f(S) < 1$ .

У цій роботі як базову величину випаровування з водної поверхні використано значення  $E_B = 22,7$  млн м<sup>3</sup> за матеріалами комплексного обстеження 2021 р. [2]. Тобто  $E_B$  визначає ефективне випаровування саме з гіперсолоного Куюльницького лиману; тому окреме чисельне введення  $f(S)$  до  $E_B$  не виконується, щоб уникнути подвійного врахування солонісного ефекту. Солонісна поправка може застосовуватися концептуально при інтерпретації чутливості результатів і при використанні методики для інших років/сценаріїв, коли  $E_0$  оцінюють за гідрометеорологічними даними для прісної води.

Хоча у роботі [7], де було застосовано нестационарну 3D модель Delft3D-FLOW, підкреслена наявність просторово-часової неоднорідності рівня і мінералізації ропи, а також важливість урахування малих водотоків і зливових опадів для моделювання гідрологічного режиму Куюльницького лиману, в запропонованій в роботі інженерній моделі розрахунків дані аспекти не враховуються.

Для визначення об'ємів атмосферних опадів у теплий сезон ( $p$ ) використано відкриті довідкові кліматичні ряди для м. Одеса. За кліматичною нормою (1981–2010 рр.), наведеною у довідкових даних для Одеси [11], місячні суми опадів у теплий сезон становили: травень–вересень становлять відповідно — 36, 49, 47, 39 і 41 мм. Ці значення використано як орієнтир верхньої межі для параметра  $p$  у оптимістичному варіанті. Для додаткової валідації залучено незалежний агрегований кліматичний ресурс [12], який вказує на річну суму опадів для Одеси близько 467 мм та максимум опадів у червні (близько 53 мм).

Так як у цій роботі теплий сезон визначено як друга половина травня–вересень (May(2) → Sep), а холодний — як жовтень–перша половина травня (Oct → May(1)), опади травня поділено порівну між холодним і теплим кроками ( $\frac{1}{2}$  місячної норми). Тобто кліматична норма опадів для теплового сезону (May(2) → Sep) становить близько  $p^{кл} \approx 194$  мм.

Таким чином, якщо визначити середню (у теплий сезон декілька останніх років) ефективну площу дзеркала лиману  $\bar{A} \approx 39,65$  км<sup>2</sup>, то це буде відповідати середньо-кліматичному об'єму опадів на дзеркало лиману за теплий сезон

$$P_B = p \times \bar{A} \approx 7,69 \text{ млн м}^3.$$

Крім кліматичного сценарію опадів при моделюванні також можна також використовувати песимістичний сценарій для теплового сезону (May(2) → Sep) з сумарною сумою опадів ( $p^{пес}$ ) для теплового періоду  $\approx 150$ – $170$  мм. У цьому випадку для  $\bar{A} \approx 39,65$  км<sup>2</sup> поповнення лиману прісною дощовою водою в теплий сезон має складати  $P_B \approx 5,95$ – $6,74$  млн м<sup>3</sup>.

Для оцінки темпів літнього осолонення лиману використано дані випаровування  $E_B = 22,7$  млн м<sup>3</sup> за 2021 р. [2]. За припущенням, що 90 % річного випаровування припадає на теплий сезон, отримуємо  $E_{warm} \approx 20,43$  млн м<sup>3</sup>.

При  $\bar{A} \approx 39,65$  км<sup>2</sup> це відповідає еквівалентній товщині шару випару за теплий сезон  $L_{warm} \approx 0,515$  м. Таким чином, для прийнятої у роботі тривалості теплового сезону (May(2) → Sep,  $\approx 138$  діб) середня інтенсивність випаровування має становити  $\approx 3,73$  мм/добу.

Для холодного періоду (Oct → May(1)) тривалістю  $\approx 227$  діб при прийнятих припущеннях припадає  $E_{cold} \approx 2,27$  млн м<sup>3</sup>, що відпо-

відає середній інтенсивності випаровування  $\approx 0,24$  мм/добу.

За таких темпів випаровування у теплий сезон один цикл роботи майданчика з пониженням рівня від  $h_p = 0,25$  м до  $h_r = 0,02$  м ( $\Delta h \approx 230$  мм) має орієнтовну тривалість  $\approx 62$  доби (без урахування опадів на майданчик та можливого зменшення випару через зростання мінералізації), а два цикли  $\approx 123$  доби, що узгоджується з можливістю двоциклового режиму в межах теплового сезону.

Отримані оцінки використовуються для перевірки узгодженості двосезонного водного балансу. У випадку, коли прийняті у сценарії притоки/втрати не забезпечують відтворення сезонних рівнів/об'ємів, параметри  $p$  та (за потреби)  $E_B$  уточнюються у межах, обґрунтованих спостереженнями та літературними даними.

### Особливості опису стану лиману у двосезонній рекурентній схемі

У запропонованій двосезонній рекурентній схемі стан системи (лиману) на кінець сезону  $k$  описується трійкою змінних:

- об'єм води  $V_k$  (м<sup>3</sup>),
- маса розчинених солей  $M_k$  (т) та
- маса солей у твердому стані (осад/самосад)

$H_k$  (т).

Середня мінералізація ропи в лимані ( $S_k$ ) визначається на кінець сезону  $k$  як

$$S_k = 1000 \times M_k / V_k \quad (\%), \quad (1)$$

де  $M_k$  визначено в тонах,  $V_k$  — у м<sup>3</sup>.

У межах кожного сезону (теплого або холодного) спочатку розраховується спрощений водний баланс:

$$V_2 = V_1 + \sum Q_{in} + P - E, \quad (2)$$

де  $V_2$  — об'єм води у водоймі на кінець розрахункового сезону (м<sup>3</sup>);  $V_1$  — об'єм води на початок сезону (м<sup>3</sup>);  $\sum Q_{in}$  — сума всіх припливів води за сезон (м<sup>3</sup>). Це може включати:

- морський приплив/подачу (каналом, шлюзом тощо),
- річковий/балковий/дренажний стік,
- підземний притік (у цій роботі не враховується),
- інші контрольовані надходження (у цій роботі не враховуються).

Аналогічно розраховується внесення/винос солей в лимані за сезон:

$$M_2^* = M_1 + Q_{\text{sea}} \times S_{\text{sea}} + Q_f \times S_f + P \times S_p, \quad (3)$$

де  $M_2^*$  — розрахункова маса солей у воді на кінець сезону без врахування фазових переходів (випадіння солі в осад або розчинення осаду) і техногенного вилучення ( $\tau$ );  $M_1$  — маса розчинених солей у воді в лимані на початок сезону ( $\tau$ ).

Далі в схемі реалізується оператор осадження солей, який забезпечує їх розділення на розчинену та тверду фази:

$$\begin{aligned} M_2 &= \min(M_2^*, S_{\text{sat}} \times V_2/1000), \\ G_2 &= G_1 + \Delta G. \end{aligned} \quad (4)$$

Тут  $V_2$  — об'єм води на кінець циклу ( $\text{м}^3$ ),  $G_2$  — маса твердої (осадженої) солі на кінець циклу ( $\tau$ ),  $G_1$  — маса твердої солі на початок циклу ( $\tau$ ). Оператор  $\min(M_2^*, S_{\text{sat}} \times V_2/1000)$  реалізує фізичну умову: розчин не може містити солі більше, ніж допускає насичення:

- якщо  $M_2^* \leq S_{\text{sat}} \times V_2/1000$ : система ненасичена, нічого не випадає, тоді  $M_2 = M_2^*$ .
- якщо  $M_2^* > S_{\text{sat}} \times V_2/1000$ : система перенасичена, «надлишок» солей випадає в осад, тобто  $M_2 = S_{\text{sat}} \times V_2/1000$ , розчин «обрізається» до межі насичення.

$\Delta G$  — приріст твердої фракції солі на дні майданчику, який визначається через  $\max(0, M_2^* - S_{\text{sat}} \times V_2/1000)$  — оператор, який визначає кількість солі, яка додатково випаде в осад за цикл, але лише якщо в кінці кроку система «пересолена» відносно насичення:

- якщо  $M_2^* \leq S_{\text{sat}} \times V_2/1000$ , тобто солей не більше, ніж може бути розчинено при насиченні, тоді різниця від'ємна або нульова, і новий осад не утворюється, тобто приріст твердої солі  $= 0$ .
- якщо  $M_2^* > S_{\text{sat}} \times V_2/1000$ , то «надлишок» солей не може залишатися в розчині і переходить у тверду фазу, тобто цей надлишок додається до  $H_1$ :

$$\Delta G = M_2^* - M_2. \quad (5)$$

Ділення на 1000 забезпечує перехід між одиницями мінералізації в проміле (‰) і кількістю солей в тонах.

Величина  $S_{\text{sat}}$  у межах цієї рекурентної моделі трактується як ефективний поріг початку інтенсивного осадження самосадної солі. Враховуючи польові спостереження, які свідчать, що

активізація самосаду відбувається при мінералізації ропи  $\approx 400$  ‰, у розрахунках прийнято базове значення  $S_{\text{sat}} = 450$  ‰ як компроміс між «порогом появи» та «інтенсивним режимом» осадження.

Експлуатація виділеного в межах лиману майданчику моделюється як додатковий стік осаджених солей ( $G_{\text{harv}}$ ) із системи у вигляді вилучення частини солі  $H_2(1)$ , що утворилася на дні майданчика в межах майданчика наприкінці циклу, після чого тверда фаза в моделі на початку наступного циклу зменшується на величину  $G_{\text{harv}}$ :

$$G_2(2) = G_2(1) - G_{\text{harv}}(\tau). \quad (6)$$

У цьому дослідженні  $S_{\text{sat}}$  застосовується як інтегральний параметр, що відбиває початок ефективного осадження за переважання NaCl у складі самосаду; для числових оцінок використано характерні для Куяльницького лиману значення мінералізації 300–380 ‰ у кінці теплового сезону [3, 6, 9].

#### *Літній режим роботи майданчика та оцінювання впливу ефекту змішування*

Відгороджений майданчик розглянуто як ділянка, що ізолюється на початку теплового сезону ( $\text{May}(2)$ ) за максимальної водності.

У роботі передбачається, що робота майданчика умовною площею  $A_p = 10$  га (100 тис.  $\text{м}^2$ ) по вилученню самосадної солі в теплому сезоні здійснюється у два цикли. У кожному циклі випаровування знижує глибину ропи на майданчику до умовних  $h_r = 0,02$  м (що відповідає залишковому об'єму ропи  $V_r = A_p \cdot h_r \approx 0,002$  млн  $\text{м}^3$ ) після чого майданчик знову поповнюється ропою з основної акваторії через відкритий прохід до вирівнювання рівнів. Фільтраційними/інфільтраційними втратами ропи через огорожувальні вали в задачі нехтуємо.

Оскільки випаровування не вилучає розчинені солі, солоність у майданчику зростає до моменту насичення (також можливий тимчасовий ефект перенасичення, однак після початку утворення твердої фракції солоність зменшується до значення насичення), а подальше випаровування призводить до випадіння солей у твердий осад. Після збору практично всього самосаду солі (тобто в задачі вважається, що тверда фаза вилучається з системи); а ропа, що залишилась у

майданчику, при відкритті проходу змішується з основною масою води в лимані (рис. 2).

Через те, що майданчик ізольований від основної частини лиману, як правило, він досягає порогу осадження раніше, ніж основна акваторія, оскільки в нього не надходять додаткові літні розсолонючі притоки (поверхневий стік, локальні підживлення), тоді як випаровування здійснюється з поверхні як майданчику, так й основної частини лиману з однаковою швидкістю. Вважається, що зменшення швидкості випаровування з ростом солоності [1] може лише частково компенсувати це випередження, але не змінює його знак.

Таким чином, ефект майданчику для збору самосадної солі в моделі полягає у вилученні у теплий сезон певної кількості солі, що надходять за рік до системи з двох резервуарів (основної частини лиману та відокремленого майданчику). Після першого циклу збору самосадної солі у майданчику змішування об'ємів ропи основної частини лиману та відокремленого майданчику працює як притік у майданчик розчиненої у воді солі, яка у кінці другого циклу також вилучається на майданчику у вигляді «твердої самосадної солі».

Вплив експлуатації відгородженого майданчика на сольовий баланс оцінюється через величину техногенного вилучення самосадної солі  $G_{\text{harv}}(t)$  та співвідношення загальної річної кількості вилученої з майданчику самосадної солі ( $G_{\text{year}}$ ) зі зовнішніми надходженнями солей у лиман. У сезонній рекурентній постановці  $G_{\text{harv}}(t)$  входить у рівняння (4) для «резервуара твердої солі» як член, що безпосередньо зменшує загальний запас осаджених солей у системі  $G_s$ :

$$G_s(t+1) = G_s(t) + \Delta G(t) - D(t) - G_{\text{harv}}(t). \quad (7)$$

Тут:

$G_s(t)$  — маса твердої солі (самосад/осад) на початок циклу;  $G_s(t+1)$  — маса твердої солі на кінець циклу.

$\Delta G(t)$  — приріст твердої фази впродовж циклу (кристалізація/осадження) внаслідок перенасичення розчину у термінах рівняння (4).

$D(t)$  — розчинення твердих солей назад у ропу при розбавленні; у такому сценарії для майданчика припускається  $D(t) \approx 0$ , оскільки вилучення самосаду виконується одразу після досягнення/перевищення  $S_{\text{sat}}$ .

$G_{\text{harv}}(t)$  — кероване техногенне вилучення твердої солі (збір самосаду з дна майданчика) у термінах рівняння (6).

Максимальне вилучення солі за один цикл/крок ( $G_{\text{cycle}}$ ) оцінюється за формулою:

$$G_{\text{cycle}} \approx S_f \times V_0 - S_{\text{sat}} \times V_r. \quad (8)$$

Тут:

$S_f$  — стартова мінералізація ропи в майданчику на початку відповідного циклу.

Для 1-го циклу приймаємо  $S_{f_1} = S_L(\text{May})$  (мінералізація основної акваторії в момент ізоляції, тобто 200 ‰). Для 2-го циклу  $S_{f_2}$  визначається змішуванням залишкової ропи у майданчику ( $V_r$  з мінералізацією, близькою до  $S_{\text{sat}}$  після кристалізації) та порції ропи, що надходить з лиману при поповненні ( $V_0 - V_r$ ):

$$S_{f_2} = (V_r \times S_{\text{sat}} + (V_0 - V_r) \times S_L(\text{mid})) / V_0. \quad (9)$$

Тут:

$S_L(\text{mid})$  — мінералізація ропи в основній акваторії на момент поповнення між циклами.

$V_0$  — об'єм ропи на початку кожного циклу в ізольованому майданчику (повне заповнення до робочої глибини). У такому сценарії  $V_0 = 0,025$  млн м<sup>3</sup>.

Добуток ( $V_r \times S_{\text{sat}}$ ) — це маса солей, що залишається розчиненою у залишковому об'ємі ропи при досягненні порога насичення ( $V_r = A_p \times h_r$ ; у такому сценарії  $V_r = 0,002$  млн м<sup>3</sup>). Цю частину солей не можна вилучити як тверду фазу, оскільки вона залишається в розчині у залишковому шарі рідини.

У формулі (9) розглядається така схема змішування ропи майданчику та ропи лиману перед початком 2-го циклу. Після завершення 1-го циклу і вилучення самосадної солі майданчик залишається заповненим залишковим об'ємом  $V_r$  з високою солоністю, яку у спрощеній схемі приймаємо близькою до порога насичення  $S_{\text{sat}}$ . Далі майданчик поповнюється ропою з основної акваторії через відкритий прохід до вирівнювання рівнів; при цьому об'єм поповнення дорівнює ( $V_0 - V_r$ ), а його мінералізація приймається рівною солоності лиману в момент поповнення  $S_L(\text{mid})$ . Припускається швидке перемішування у межах майданчика (однорідність за солоністю в кінці поповнення) і відсутність істотного розчинення осаду після збору ( $D \approx 0$  для кроку «вилучення → поповнення»). За цих припущень

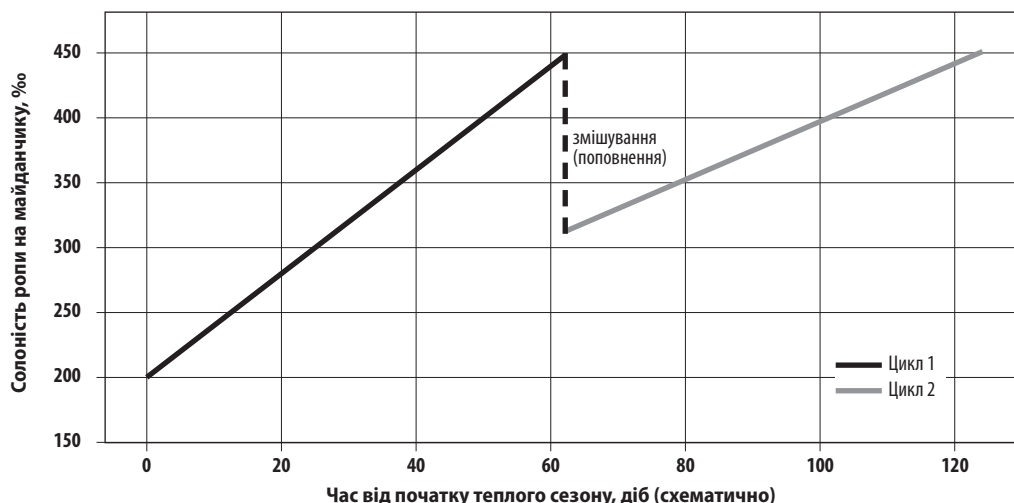


Рис. 2. Динаміка мінералізації ропи на майданчику в 2-х циклах (підвищення до порога насичення  $S_{\text{sat}} = 450$  ‰) і момент змішування/поповнення між циклами

стартова мінералізація 2-го циклу визначається як масово-об'ємне середнє.

Ця формула відображає, що навіть при «повному заповненні» до  $V_0$  на початку 2-го циклу стартова мінералізація у майданчику завжди є вищою за  $S_L(\text{mid})$  через домішку залишкової концентрованої ропи об'ємом  $V_r$ .

Розрахунок  $S_L(\text{mid})$  виконується сезонно-усередненою box-моделлю, застосованою до основної акваторії лиману в межах теплого сезону між контрольними моментами  $\text{May}(2) \rightarrow T_{\text{mid}}$ . Час  $T_{\text{mid}}$  відповідає моменту завершення 1-го циклу роботи майданчика (після доведення ропи до порога насичення та вилучення самосаду), перед його поповненням. Тривалість 1-го циклу роботи майданчика (після доведення ропи до порога насичення та вилучення самосаду), перед його поповненням. Тривалість 1-го циклу  $t_{\text{cycle}}$  оцінюється з водного балансу майданчика як час, необхідний для випару шару  $\Delta h = h_p - h_r$ , використовуючи середню інтенсивність випаровування теплого сезону (за даними 2021 р. та/або кліматичних норм). Далі припускаємо, що сезонні потоки для основної акваторії ( $E$ ,  $P$  та надходження прісної води) на відріжку  $\text{May} \rightarrow T_{\text{mid}}$  пропорційні частці часу  $f = t_{\text{cycle}}/T_{\text{warm}}$  (де  $T_{\text{warm}}$  — тривалість теплого сезону за прийнятою сезонною схемою). Тоді для основної акваторії лиману маємо:

$$\begin{aligned} V_{\text{mid}} &= V_{\text{May}} + \\ & f \times \left( \sum Q_{\text{in,warm}} + P_{\text{warm}} - E_{\text{warm}} \right), \\ M_{\text{mid}}^* &= M_{\text{May}} + \\ & f \times \left( \sum Q_{\text{in,warm}} \times S_{\text{in}} + P_{\text{warm}} \times S_p \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Оскільки протягом 1-го циклу у вибраному сценарії в основній акваторії лиману поріг  $S_{\text{sat}}$  не досягається, фазовий перехід «розчин  $\rightarrow$  тверда фаза» для цього резервуара не активується, і тоді

$$S_L(\text{mid}) = 1000 \times M_{\text{mid}}^* / V_{\text{mid}}. \quad (11)$$

Саме це значення підставляється у формулу змішування для  $S_{f_2}$ .

#### Оцінювання ймовірних масштабів вилучення самосадної солі в теплий сезон та його впливу на сольовий режим лиману

Як вже вказувалося вище, контрольоване вилучення самосадної солі розглядається як один із потенційних інструментів управління сольовим балансом Куяльницького лиману [1, 6]. Застосуємо розроблену модель для оцінювання ймовірних масштабів вилучення самосадної солі в теплий сезон та його впливу на сольовий режим лиману. Узагальнені дані щодо вхідних параметрів та припущень, використаних при розрахунках, наведені у *табл. 1*.

Якщо припустити, що висота стовпчика ропи в лимані на початок теплого сезону  $h_{\text{May}} = 0,5$  м та мінералізація ропи лиману на початку теплого сезону  $S_L(\text{May}) = 200$  ‰, при кліматичній нормі опадів ( $P_B \approx 7,69$  млн м<sup>3</sup>), отримуємо за сезонною рекурентною моделлю

$$S_L(\text{mid}) \approx 293,6 \text{ ‰}.$$

За таких умов мінералізація ропи у майданчику на початку 2-го циклу роботи має становити  $S_{f_2} \approx 306,1$  ‰. Слід підкреслити, що розра-

Таблиця 1. Використані при розрахунках вхідні параметри моделі та припущення

Параметр	Значення	Джерело / обґрунтування
Ефективна площа дзеркала лиману у теплий сезон ( $\bar{A}$ )	$\approx 39,65 \text{ км}^2$	Узгодження з річним усередненням для 2021 р. [2] і даними [8–10] з урахуванням літнього підсихання лиману
Річне випаровування з водної поверхні лиману ( $E_b$ )	22,7 млн $\text{м}^3$	За матеріалами комплексного обстеження 2021 р. [2]
Частка випаровування, що припадає на теплий сезон	90 %	Припущення, яке узгоджується з розрахунками, наведеними в [1]
Тривалість теплого сезону (May(2) – Sep)	$\approx 138$ діб	Припущення, яке узгоджується в цілому з кліматичними даними
Об'єм дощової води, що надійшов на дзеркало лиману за теплий сезон ( $P_B$ )	Кліматична норма $\approx 7,69$ млн $\text{м}^3$ Посушливі умови $\approx 5,95$ – $6,74$ млн $\text{м}^3$	Кліматичні дані
Об'єм морської води, що надійшов за рік до лиману, $Q_{\text{sea}}$ та її мінералізація, $S_{\text{sea}}$	$\approx 10,2$ млн $\text{м}^3$ та $\approx 13\%$ , відповідно	За матеріалами комплексного обстеження 2021 р. [2]
Об'єм стоку з водозбору, $Q_f$ та його мінералізація, $S_f$	10 млн $\text{м}^3$ та 2 % відповідно	За матеріалами комплексного обстеження 2021 р. [2]
Солоність основної акваторії на початку теплого сезону $S_L(\text{May})$	200 ‰	Припущення, що базується на польових дослідженнях
Висота стовпчику ропи в лимані на початок теплого сезону ( $h_{\text{May}}$ )	0,5 м	Припущення, що базується на даних багаторічних досліджень
Площа відгородженого майданчика — «резервуара твердої солі», $A_p$	10 га	Припущення початкової площі експериментального майданчику
Початковий та кінцевий рівні стовпчику ропи у відгородженому майданчику $h_p$ та $h_f$	0,25 м та 0,02 м відповідно	Припущення, що базується на польових дослідженнях
Ефективний поріг мінералізації ропи, при досягненні якого починається інтенсивне осадження самосадної солі, $S_{\text{sat}}$	450 ‰	Припущення, що базується на польових дослідженнях
Інтенсивність розчинення твердих солей назад у ропу для кроку «вилучення → поповнення» (D)	$\approx 0$ тон	Інтенсивність розчинення твердого осаду при мінералізації ропи після змішування більше 300 ‰ дуже низька

хунки свідчать про суттєву чутливість величини  $S_{f_2}$  до вибраного значення середньої глибини лиману на початку літнього сезону. Так, якщо:

$$h_{\text{May}} = 0,70 \text{ м} \rightarrow S_{f_2} \approx 267,4 \text{ ‰},$$

$$h_{\text{May}} = 0,40 \text{ м} \rightarrow S_{f_2} \approx 322,9 \text{ ‰}.$$

У посушливі роки при  $P_B \approx 5,95$ – $6,74$  млн  $\text{м}^3$  мінералізація ропи в лимані на початку другого циклу роботи майданчика  $S_L(\text{mid})$  має складати від 304,0 ‰ (при  $p^{\text{пес}} \approx 170$  мм) до 313,6 ‰ (при  $p^{\text{пес}} \approx 150$  мм). Тому у подальших оціночних розрахунках будемо використовувати базове значення  $S_L(\text{mid}) = 300$  ‰, що відповідає

значенню мінералізації ропи у майданчику на початку 2-го циклу роботи  $S_{f_2} = 312$  ‰.

Виконані за описаною методикою розрахунки при заданих вхідних параметрах (див. **табл. 1**) свідчать, що сумарне максимально можливе вилучення самосадної солі з майданчика ( $G_{\text{warm}}$ ) за 2 цикли його роботи у теплий сезон (May(2) → Sep)

$$G_{\text{warm}} = G_{\text{cycle}}(1) + G_{\text{cycle}}(2), \quad (12)$$

оцінюється приблизно в 11,0 тис. тон (4100 т + 6900 т).

Для порівняння, у вибраному сценарії річне зовнішнє надходження солей (за умови надхо-

дження до лиману за рік 10 млн м<sup>3</sup> морської води солоністю 13 ‰ та 10 млн м<sup>3</sup> слабосоленої прісної води солоністю 2 ‰ з поверхневих джерел) становить близько 150 тис. т солей на рік.

Величина  $G_{\text{warm}}$  є чутливою до вибору порога насичення  $S_{\text{sat}}$  та мінералізації основної акваторії лиману в момент поповнення між циклами  $S_L(\text{mid})$ . Отже наведена оцінка має інтерпретуватися як орієнтовна для порівняння з річним зовнішнім надходженням солей і для попередньої перевірки сценаріїв керованого вилучення.

### Висновки

Застосування запропонованої двосезонної рекурентної моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману з явним обліком твердих солей для кількісної оцінювання внеску керованого вилучення самосадної солі дозволяє зробити такі висновки:

- Природні кліматичні умови Куяльницького лиману дозволяють реалізувати експлуатаційну схему роботи відокремленого майданчику: у теплий сезон майданчик може працювати у 2 цикли: «заповнення → випаровування/кристалізація → збір солі → відкриття проходу до вирівнювання рівнів».

- У вибраному сценарії річне зовнішнє надходження солей (за умови надходження до лиману за рік 10 млн м<sup>3</sup> морської води солоністю 12 ‰ та 10 млн м<sup>3</sup> слабосоленої прісної води солоністю 2 ‰) вилучення самосадної солі з відокремленого майданчику площею 10 га може лише частково (в межах 6–10 %) компенсувати притік солей. Цей ефект накопичувальний і проявляється в багаторічному масштабі. При середньорічній солоності ропи в лимані приблизно 260 ‰ ефект вилучення самосадної солі на відокремленому майданчику площею 10 га може призвести до зниження середньорічної солоності лиману на 0,2 %.

- У разі успішної реалізації проекту видалення самосадної солі з лиману з метою зниження його середньої солоності можливо розглянути масштабування (площа майданчика/майданчиків до 100–200 га), що може наблизити очікувану компенсацію річного притоку солей до 100 %.

- У цілому, вилучення самосадної солі з відокремленого майданчика(-ків) доцільно розглядати як один з можливих реальних елементів довгострокової стратегії підтримання сприятливого водно-сольового режиму лиману. Однак це не відмінняє науково обґрунтованого висновку про те, що поповнення Куяльницького лиману морською водою є вимушеним тимчасовим заходом. Водночас головним механізмом довгострокової стратегії підтримання сприятливого водно-сольового режиму лиману має бути відновлення джерел поповнення Куяльницького лиману прісною водою в обсягах не менше ніж 15 млн м<sup>3</sup> за рік.

- Жорстке дотримання екологічних вимог має критичне значення для реалізації проекту, так як майданчик та підходи до нього знаходяться в межах території природно-заповідного фонду (Національний природний парк «Куяльницький») і першої зони санітарної охорони курорту державного значення «Куяльницький лиман», тому технології збору та вивезення самосадної солі з майданчика мають забезпечити відсутність/допустиме техногенне навантаження на унікальну екосистему лиману та прибережних територій.

### Новизна дослідження

Новизна роботи полягає у застосуванні сезонно-усередненої рекурентної балансової box-моделі з явним обліком «резервуара твердої солі» для кількісної оцінювання внеску керованого вилучення самосадної солі на ізольованому майданчику (10 га) у зміну сольового балансу та середньої солоності основної акваторії Куяльницького лиману.

### References [Література]

1. Loboda, N. S., & Hopchenko, Ye. D. (2016). *Water Regime and Hydroecological Characteristics of the Kuyalnyk Estuary*. Monograph. TES, Odesa, 332. [In Ukrainian]. [Лобода Н. С., Гопченко Є. Д. *Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману*: моногр. Одеський держ. екологічн. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.]
2. Tychkovenko, Yu. S., Harkusha, O. P., & Hryb, O. M. (2022). Results of hydrological, hydrochemical, hydrobiological, and medico-biological survey of the Kuyalnyk Estuary. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 30, 40–64. [In Ukrainian]. [Тучковенко Ю. С., Гаркуша О. П., Грїб О. М. та ін. (2022). Результати гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження Куяльницького лиману. *Український гідрометеорологічний журнал*, (30), 40–64.]. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.30.2022.04>.

3. Shikhaleeva, G. M., Yurchenko, Yu. Yu., & Kiryushkina, G. M. (2023). The history of research and status of study of hyperhaline Kuyalnyk Estuary geoecosystem (Ukraine, North-Western Black Sea). *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, 15–25. [In Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-02>.
4. Stepanenko, S. N. (2013). *Causes of the Shallowing of the Kuyalnyk Estuary and Ways to Save It*. Odesa. Ekologiya, 36. [In Russian]. [Степаненко С. Н. (2013). *Причини обмеления Куяльницького лимана и пути его спасения*. 2013. Одесса: Экология, 36 с.].
5. Hryb, O. M. (2015). Scientific substantiation and practical implementation of measures for managing the hydroecological regime of the Kuyalnyk Estuary based on modeling the water–salt balance of the water body under global climate change. *Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series "Biology."* 3–4 (64), 130–133. [In Ukrainian]. [Гриб О. М. (2015). Наукове обґрунтування та практична реалізація заходів по управлінню гідроекологічним режимом Куяльницького лиману на основі моделювання водно-сольового балансу водойми в умовах змін глобального клімату. *Наук. записки Тернопільського пед. університету. Серія «Біологія»*, № 3–4 (64), 130–133.].
6. Adobovskiy, V. V., & Bohatova, Yu. I. (2013). Features of the modern hydrological and hydrochemical regime of the Kuyalnyk Estuary and a predictive assessment of its components under possible replenishment of the water body with seawater and freshwater. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 13, 127–137. [In Russian]. [Адобовский В. В., Богатова Ю. И. (2013). Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницького лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами. *Український гідрометеорологічний журнал*. № 13. 127–137.].
7. Tuchkovenko, Yu. S., & Kushnir, D. V. (2016). Results of numerical modeling of intra-annual variability of hydrological regime characteristics of the Kuyalnyk Estuary. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 17. 137–149. [In Ukrainian]. [Тучковенко Ю. С., Кушнір Д. В. (2016). Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману. *Український гідрометеорологічний журнал*. 17. 137–149.]. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.15>.
8. Diatlov, S. E., Koshelev, A. V., Zaporozhets, S. A., & Lukianova, E. A. (2018). Odesa estuaries: current state and prospects for their use and protection. *Water: Hygiene and Ecology*. 1–4 (6). 62–68. [In Russian]. [Дятлов С. Е., Кошелев А. В., Запорожец С. А., Лукьянова, Е. А. (2018). Одесские лиманы: современное состояние и перспективы их использования и охраны. *Вода: Гигиена і екологія*. 1–4 (6). 62–68.].
9. Yennan, A. A., Dubyna, D. V., Tsarenko, P. M., et al. (2018). How to restore the ecosystem of the Kuyalnyk Estuary. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 6. 93–109. [In Ukrainian]. [Еннан, А. А., Дубина Д. В., Царенко П. М. та ін. (2018). Як відновити екосистему Куяльницького лиману. *Вісник НАН України*. 6. 93–109.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/vsn2018.06.093>.
10. Rozengurt, M. Sh. (1974). *Hydrology and Prospects for the Reconstruction of Natural Resources of the Odesa Estuaries*. Naukova Dumka, Kyiv, 225. [In Russian]. [Розенгурт М. Ш. (1974). *Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов*. Киев: Наукова думка. 225 с.]. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.15>.
11. *Climate of Odesa*. Wikipedia (climate normal of precipitation, 1981–2010). [In Ukrainian]. [Клімат Одеси. Вікіпедія. (Кліматична норма опадів 1981–2010). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Клімат\\_Одеси](https://uk.wikipedia.org/wiki/Клімат_Одеси) (accessed: 12.13.2025).
12. *Copernicus Climate Data Store. ERA5-Land monthly means*. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means> (accessed: 12. 23.2025).

Стаття надійшла до редакції 03.02.2026 р., прийнята до друку 26.02.2026 р.

Stepanenko, S. M.

 0000-0002-6343-3968

Institute of Market and Economic and Ecological Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Odesa

## On the Impact on the Water-Salt Regime of the Kuyalnyk Estuary of Restoring Controlled Harvesting of Self-Deposited Salt on an Isolated Platform

UDC 502.4:528.94(477.4)(292.485)(045)

The paper provides a quantitative assessment of the potential impact of operating an isolated salt-harvesting platform on the water–salt regime of the Kuyalnyk Estuary (Odesa region, Ukraine). A season (May–Oct) recurrent water–salt balance model with an explicit solid-salt reservoir was developed and parameterized using available observational data. The 10 ha platform is treated as a local evaporator (working depth 0,25 m) operated in two summer cycles; in each cycle the water level is lowered by  $h_r = 0,02$  m due to evaporation and then replenished with brine from the main basin through an open passage until levels equalize. Under the adopted scenario, the annual salt removal is  $\sim 11,0$  kt, translating into an average salinity decrease of  $\sim 0,2\text{‰}$  per year for the main water body given a cold-season seawater inflow of  $\sim 10$  million  $\text{m}^3$ . Post-cycle mixing does not, by itself, desali-

nate the estuary; the net effect is driven by removing precipitated solids. Practical recommendations for seasonal operation and risk minimization are proposed.

**Keywords:** *Kuyalnyk Estuary; water balance; salt balance; hypersaline waters; evaporative salt precipitation; recurrent model; management.*

---

**For citation:**

Stepanenko, S. M. (2026). On the impact on the water-salt regime of the Kuyalnyk Estuary of restoring controlled harvesting of self-deposited salt on an isolated platform. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 8–18. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.008>

**Copyright** © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.019>

Korohoda, N. P.  
Kupach, T. G.

0000-0003-1518-2997,  
 0000-0001-8710-7107,

Halahan, O. O.

0000-0003-1449-3638

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## Assessment of Heat Reduction Ecosystem Services by Urban Green Spaces of Kyiv

UDC 911.375.64:551.588.7:504.06(477.411)(045)

**Abstract.** An effective tool in combating Urban Heat Islands (UHI) manifestations is the development of urban blue-green infrastructure (BGI). BGI, through its functioning, provides various ecosystem services (ES), including heat reduction ES. This study aims to assess the heat-reduction ecosystem services provided by BGI and by specific urban green spaces (UGS) within the city. In this study, we employ a spatially explicit method for UHI assessment based on remote sensing of Land Surface Temperature (LST). We also use open data on Kyiv city's urban green infrastructure (BGI), including the ESA WorldCover 2020 land cover map, the Copernicus Global Land Service Land Cover, and the OpenStreetMap database. The assessment involves modeling the cooling function, determining its effectiveness, translating this effectiveness into ecosystem service quantities, and exemplifying these with the case of the BGI of Kyiv.

The study's results reveal that BGI cools surfaces by up to 16°C. The least efficient green areas, occupying 23–29% of the polygon area and having a perforation of 70–80 km/km<sup>2</sup>. Overall, Kyiv's BGI provides heat reduction ES at average (33% of cases) and above-average (30% of cases) volumes. 16.7% of green spaces provide their maximum ES, while the rest require modifications to enhance efficiency.

**Keywords:** *urban heat island (UHI), urban green space (UGS), blue-green infrastructure (BGI), ecosystem services (ES), assessment.*

### Relevance of the research

According to the United Nations, by 2050, more than 65% of the world's population will be concentrated in cities [1]. Among the significant problems arising from urbanization processes that lead to a decline in the quality of urban residents' lives, researchers identify the phenomenon of the urban heat island [2]. The emergence of urban heat islands (UHIs), their spatial characteristics, and the temperature differences they produce are influenced by numerous factors, primarily anthropogenic. These factors include the expansion of built-up areas, atmospheric pollution, degradation or reduction of green spaces, and more [3]. Ecological changes in urban ecosystems due to UHI primarily result in decreased air and water quality.

Economic losses are attributed to increased energy consumption for cooling indoor spaces. Most importantly, UHI leads to heightened heat stress and, consequently, an increase in health issues among urban residents, even contributing to higher mortality rates. In the policies of the European community, the development of urban blue-green infrastructure (BGI) has been recognized as an effective tool for combating UHI manifestations. BGI comprises a network of urban green spaces (UGS) (natural, semi-natural, and artificial vegetation) and water bodies within cities. During its functioning, BGI provides a wide range of benefits to urban dwellers in the form of ecosystem services, including heat reduction services [4–5]. The mechanism behind this service involves

### For citation:

Korohoda, N. P., Kupach, T. G., & Halahan, O. O. (2026). Assessment of Heat Reduction Ecosystem Services by Urban Green Spaces of Kyiv. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 19–27. [in English]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.019>

Copyright © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

natural shading, evapotranspiration, increased absorption and reflection of solar radiation, and more [6–8].

### The state of research on the issue

Existing scientific research has primarily focused on assessing the ecosystem services provided by UGS, specifically heat mitigation. These works mainly investigate temperature indicators within specific green infrastructure elements [1, 9, 10] and the dispersion of cooling effects from green spaces to adjacent areas [2, 11–14]. Numerous studies also explore the utilization of remote sensing and geospatial modeling in UHI research. For instance, a study [2] analyzed UHI characteristics using Landsat-8 surface temperature data. The InVEST project offers modules (tools) for analyzing urban cooling and UHI reduction [15]. In Ukraine, such studies have also been conducted, particularly concerning the city of Kyiv [3, 16].

### The purpose of the research

Collectively, these studies indicate that the strength and spatial extent of cooling effects depend on both qualitative factors and quantitative metrics of green spaces [1, 17]. However, there is insufficient coverage of assessing the cooling properties of the entire BGI. Additionally, we did not identify research specifically addressing the assessment of cooling services provided by small squares or building-associated UGS, despite their role as primary contributors to cooling in densely built areas. The effectiveness of the existing BGI in providing cooling services and the extent of these ecosystem services remain open questions. In our opinion, the assessment should rely on quantitative and qualitative indicators of the entire available infrastructure, accessible through remote sensing data. Consequently, the goal of this study is to assess the heat-reduction ecosystem services provided by the entire existing BGI and specific UGS within the city using remote sensing data.

### Research methods

To analyze temperature distribution, a spatially explicit method for UHI assessment based on remote sensing of Land Surface Temperature (LST) was employed [18].

The materials used for this study include:

- A series of multispectral satellite images acquired by the Landsat-8 satellite from May to September for the years 2019–2022 [19–24]. Landsat-8

data provide high-resolution thermal channel data (B10) at 30 meters. Thermal infrared (TIR) remote sensing data were used for LST modeling, with cloud cover limited to 20% and additional masking of clouds, cloud shadows, ice, and snow [25].

- OpenStreetMap database for identifying specific boundaries of UGS [26].

- ESA WorldCover 2020 land cover map product based on Sentinel-1 and Sentinel-2 data, providing land cover information at a resolution of 10 meters [27]. These datasets help determine qualitative characteristics of green spaces that OpenStreetMap data might not identify.

The methodology of this study is based on the premise that UGS provides its maximum ecosystem services when it functions effectively. The effectiveness of functioning depends on the UGS's characteristics. Among the indicators suitable for evaluating the provision of these services, the following are notable:

- The area of the UGS. This parameter is crucial for assessment, as it has been established that an average park of 6 hectares produces a noticeable cooling effect. Large green spaces can also have a cooling effect beyond their boundaries [9, 11]. A linear relationship between the size of the UGS and the distance at which cooling occurs was established in [1].
- The type and distribution pattern of vegetation. The presence of mature deciduous trees significantly impacts temperature indicators [28].

### Statement of basic materials

The calculation indicators for assessing these services for urban BGI or individual green spaces are as follows: average surface temperature in model polygons within the city ( $t_{pg}$ ), average temperature in individual green spaces ( $t_{g,a}$ ), average temperature outside the city ( $t_{suburb}$ ), area of the green space ( $S_{g,a}$ ), predominant type of vegetation ( $Type_{veg}$ ), proportion of the area occupied by green spaces in the polygon ( $P_s$ ). The assessment of ecosystem services provision for cooling entails determining this service's contribution from the entire BGI and the UGS separately. As a result, the assessment should be conducted on two spatial levels: city-wide and local.

The assessment algorithm for ecosystem services provision for cooling involves the sequential completion of tasks:

1. Identify cooling effects from green spaces in territories and simulate the “implementation” of this function.

2. Assess the effectiveness of the cooling function.

3. Convert the effectiveness values into cooling ecosystem service quantities.

4. Determine the volume of the ecosystem services.

To effectively accomplish these tasks, it is necessary to define the modeling units. The “floating territorial assessment unit” hypothesis was implemented for this purpose. It was determined that hexagonal polygons are the most effective for GIS-based modeling. The dimensions of the model polygons used to assess the cooling function of green spaces in Kyiv were determined using variography. Most topographical surfaces exhibit a statistical nature when modeled using regionalized variables, such as vegetation change surfaces and microclimatic indicators. In regionalized variable modeling, it is assumed that the locations of the statistical surface are spatially correlated. The empirical variogram of the statistical surface’s locations quantifies the degree of statistical correlation as a function of the distance between locations [29]. In modeling, the increasing variogram graph begins to flatten at a threshold value (semi-variance  $\gamma \sim 2.534$ ), and the distance  $h$  at which the variogram levels off represents the range of increase, or the radius of influence (rang). The value of rang is the boundary at which the variance reaches a limit and remains constant thereafter. Beyond its boundaries, the distance between locations becomes insignificant, as they are independent at any distance beyond the radius of influence. When modeling the cooling function of urban green spaces using GIS tools, the radius of influence indicates the range required for interpolation to encompass all locations whose values are correlated. For example, in the Kyiv territory, a correlation in values is observed between locations within a coverage radius of 1325 m. Therefore, for this study, hexagons of the appropriate size were selected as model polygons.

For modeling the cooling function at the city-wide level within the constructed model polygons of the chosen size, the following steps are required:

1.1.1. Determine the average surface temperature within the polygon ( $t_{plg}$ ).

1.1.2. Calculate the cooling function provided by the BGI within the city, denoted as  $Cooling_{(BGI)}$ . This function is calculated similarly to determining the manifestations of UHI effects, as in equation (1).

$$Cooling_{(BGI)} = t_{plg} - t_{suburb}, \quad (1)$$

where  $Cooling_{(BGI)}$  is the cooling function performed by BGI,  $t_{plg}$  — the average surface temperature within the polygon, and  $t_{suburb}$  — the average temperature outside the city.

At the local level, to determine the realization of the cooling function provided by each specific green space, the following steps are required:

1.2.1. Determine the average surface temperature within the UGS ( $t_{g.a}$ ).

1.2.2. Determine the contribution of each UGS to the microclimate formation within the polygon using equation (2):

$$Cooling_{(g.a)} = t_{g.a} - t_{plg}, \quad (2)$$

where  $Cooling_{(g.a)}$  — the cooling function performed by each UGS,  $t_{plg}$  — the average surface temperature within the polygon,  $t_{g.a}$  — the average temperature within the green space.

The effectiveness of each UGS (or BGI) in performing the cooling function is understood as its influence on the overall temperature. Accordingly, its determination at the city-wide level involves the following steps:

2.1.1. Determine the polygon with the maximum surface temperature —  $t_{plg(max)}$ .

2.1.2. Establish the proportion of model polygons occupied by vegetation —  $P_s$ .

2.1.3. The effectiveness of the cooling function performed by BGI —  $Ecooling_{(BGI)}$  should be calculated using equation (3):

$$Ecooling_{(BGI)} = t_{plg} - t_{plg(max)}, \quad (3)$$

where  $Ecooling_{(BGI)}$  is the effectiveness of the cooling function performed by BGI,  $t_{plg(max)}$  — the average temperature within the polygon with the maximum value in the city,  $t_{plg}$  — the average surface temperature within the polygon.

At the local level:

2.2.1. Determining the effectiveness of UGS in performing the cooling function —  $Ecooling_{(g.a)}$  involves identifying differences between the temperature indicators of individual UGS —  $t_{g.a}$  and the minimum temperature within the green spaces of the city —  $t_{g.a(min)}$ , as described by equation (4).

$$Ecooling_{(g.a)} = t_{plg} - t_{g.a(min)}, \quad (4)$$

where  $Ecooling_{(g.a)}$  — the effectiveness of the cooling function performed by each individual UGS,  $t_{g.a}$  — the average surface temperature within the green space,  $t_{g.a(min)}$  — the minimum temperature within the UGS.

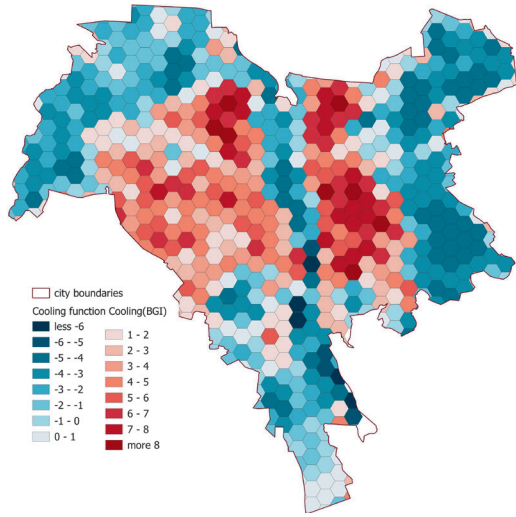


Fig. 1. Cooling function performed by urban green infrastructure in Kyiv —  $Cooling_{(BGI)}$

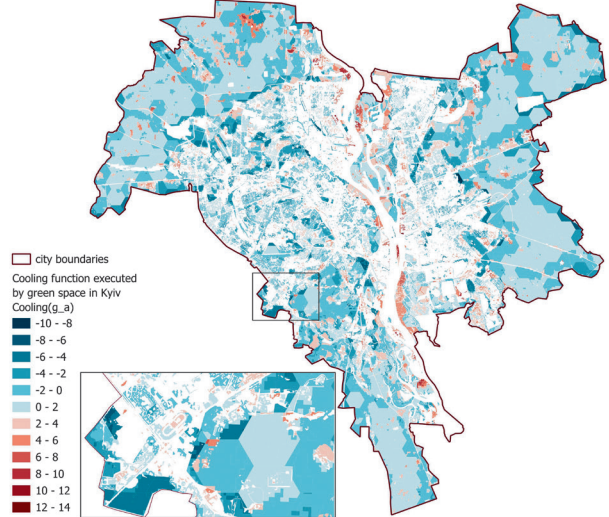


Fig. 2. Cooling function executed by green space in Kyiv —  $Cooling_{(g_a)}$

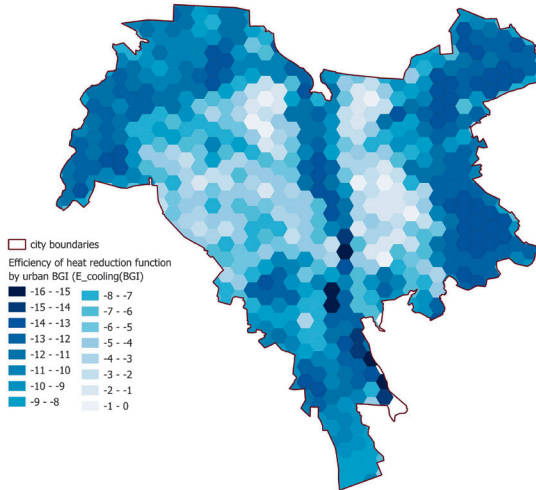


Fig. 3. Efficiency of heat reduction function by urban BGI —  $E_{cooling_{(BGI)}}$

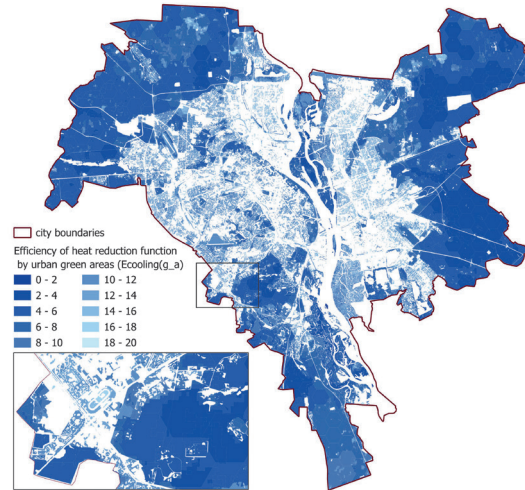


Fig. 4. Efficiency of heat reduction function by urban green spaces —  $E_{cooling_{(g_a)}}$

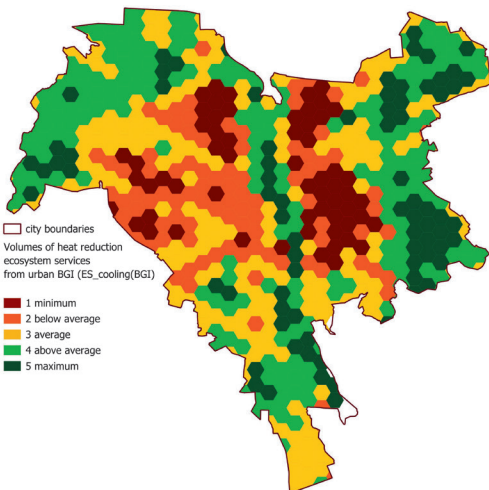


Fig. 5. Volumes of heat reduction ecosystem services from urban BGI —  $E_{Scooling_{(BGI)}}$

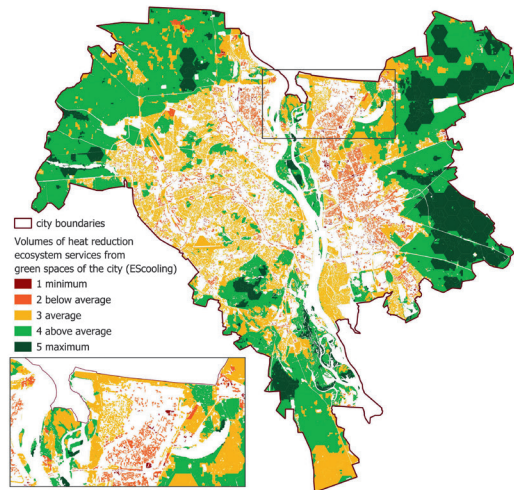


Fig. 6. The volumes of heat reduction ES from individual green spaces of the city —  $E_{Scooling_{(g_a)}}$

**Table 1. Data on average surface temperature for a set of model polygons for the study area within the city and suburbs of Kyiv**

	min	max	mean	median
Average surface temperature of the suburban area	22.976	41.875	33.780	34.003
Average surface temperature of the urban area	26.673	42.706	34.099	33.704

**Table 2. Average surface temperature data for green spaces within the city and a set of model polygons**

	min	max	mean	median
Average surface temperature within green spaces	25.460	46.489	35.72	35.905
Average surface temperature of model polygons of the urban area	26.673	42.706	34.099	33.704

The next step should be the conversion of the obtained cooling effectiveness values into quantities of ecosystem services related to heat mitigation. The formalization of calculation indicators, similar to previous works [30–33], is based on the empirically generalized desirability scale by E. Harrington [34], which involves transforming (normalizing) all measured indicators (in this case, indicators of the cooling function effectiveness  $E_{cooling(BGI)}$ ,  $E_{cooling(g,a)}$ ) into dimensionless values. This study employs a function where 0 represents the lowest quality of a UGS (or BGI) (minimal ecosystem services provision), and 1 represents the highest.

#### Implementation of the methodology

According to sections 1.1.1 and 1.1.2 of the methodology, the study calculates the average temperature within the constructed model polygons using a series of images (Table 1) and the cooling function performed by BGI (Fig. 1). Figure 1 reveals that in the northwestern, northeastern, and southern parts of the city, within polygons fully covered by tree vegetation of the BGI, the cooling effect is most pronounced, and heat manifestations are entirely absent. Over the major waterway, the Dnipro River, which runs through the city center, the temperature is even lower than the average temperature outside the city.

At the same time, in polygons with maximum urban development, surface temperatures exceed the temperatures outside the city by more than 9°C, which further emphasizes the impact of the BGI in mitigating heat effects.

According to sections 1.2.1 and 1.2.2 of the methodology, the indicators of average surface temperature —  $t_{g,a}$ , and the cooling function in individual green spaces of the city,  $Cooling_{g(a)}$ , were calculated and mapped (Table 2, Fig. 2).

This result confirms that the model polygons with a large percentage of the area covered by green spaces at the citywide level or individual large green spaces at the local level are those whose functioning neutralises the UHI (temperature difference is “0” or “minus”). Also, Figure 2 shows that even within the same landfill, the surface temperatures of green spaces are more than 10°C lower than the average in the model polygon. At the same time, the temperatures in some green spaces are higher by 10°C than the average temperature in the polygon, which indicates their different efficiency and is obviously related to their characteristics.

The next step was to determine the effectiveness of the cooling function. According to section 2.1.1 of the methodology, the maximum surface warming in the model polygons of Kyiv —  $t_{plg(max)}$  was 42, 7°C

Using section 2.1.2 of the methodology, the percentage of areas covered by different types of green vegetation —  $P_s$  was determined. To establish the relationship between the areas of green vegetation, their types, and surface temperatures in the polygons, a correlation analysis was conducted.

A correlation analysis was conducted to find the relationship between the area of green spaces, their type and surface temperatures in the model polygons. This analysis indicates that there is a relationship between these indicators. The correlation coefficients between the average surface temperature in the polygons and the percentage of the city’s tree and total vegetation areas show a rather strong (–0.57) correlation between the area covered by vegetation and surface temperature. Also confirmed that herbaceous vegetation has very weak correlation with temperature (0.119). According to the results of the correlation analysis, the influence of the Dnipro River on the cooling processes in the city is noticeable. The correlation coefficient in the distribution of surface

**Table 3. The volume of heat reduction ecosystem services**

<i>Ecooling</i> <sub>(BGI)</sub> , °C	<i>Ecooling</i> <sub>(g.a)</sub> , °C	Assessment score	Volume of ES Ecooling
[ -12,649 — -15,811 ]	[ 0 — 4,206 )	5	maximum
[ -9,961 — -12,649 )	[ 4,206 — 7,780 )	4	above average
[ -5,850 — -9,961 )	[ 7,780 — 13,248 )	3	average
[ -3,162 — -5,85 )	[ 13,248 — 16,823 )	2	below average
[ 0 — -3,162 )	[ 16,823 — 21,029 ]	1	minimum

**Table 4. The volume of heat reduction ecosystem services, provided by BGI in Kyiv**

EScooling(BGI)	The model polygons of the city	
	amount	%
maximum	78	12
above average	192	30
average	210	33
below average	99	16
minimum	60	9
<b>Total</b>	<b>639</b>	<b>100</b>

**Table 5. The volumes of heat reduction ecosystem services provided by green spaces in Kyiv**

EScooling(BGI)	The model polygons of the city	
	amount	%
maximum	8,914	16.7
above average	26,780	50.2
average	14,920	27.97
below average	2,588	4.85
minimum	151	0.28
<b>Total</b>	<b>53,353</b>	<b>100</b>

temperature and green space, taking into account the cooling effect of the Dnipro water area, is  $-0.43$ .

In the implementation of point 2.1.3 of the methodology, the effectiveness of the city's BGI was determined as *Ecooling*(BGI). Given the proportion of gray and green infrastructure areas and the composition of vegetation species, it is not surprising that the BGI in the city, where it covers over 90% of the area, significantly reduces surface temperatures. The temperature difference can reach up to  $16^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3). However, for the majority of areas in Kyiv, with the existing ratio of built-up and green spaces, the average cooling is around  $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3).

As a result of the implementation of section 2.2.1 of the methodology, the efficiency of the functioning of UGS — *Ecooling*<sub>(g.a)</sub> it was determined that most green spaces in typical urbanized areas differ from the minimum temperature indicators by  $16^{\circ}\text{C}$  due to

their characteristics (Fig. 4). We conducted calculations and observed a clear relationship between the areas occupied by green spaces, their permeability (perimeter-to-area ratio), and their effectiveness in performing the cooling function. Most commonly, if the green spaces occupy  $0.23\text{--}0.29$  of the polygon's area and have a permeability of  $70\text{--}80\text{ km}^2/\text{km}^2$ , they are the least effective in cooling and differ from the minimum value by  $15\text{--}19^{\circ}\text{C}$ . The most efficient cooling occurs when the green spaces cover more than 90% of the area and have a permeability of up to  $10\text{ km}^2/\text{km}^2$ .

The next step in implementing the methodology was to standardize the cooling efficiency indicators into dimensionless values, which will characterize the volumes of ecosystem services in mitigating heat effects. The results of standardizing the indicators are presented in Table 3.

The cartographic representation of the modeling results is presented in **Fig. 5, 6**. Specifically, Figure 5 illustrates the volumes of ecosystem services provided by the BGI within each polygon, while Figure 6 — by the each UGS.

### Conclusions

The methodology and remote sensing data presented in this study were used to calculate the effectiveness of the cooling function BGI in Kyiv. This effectiveness was understood as the ability to reduce temperatures compared to the most intensely heated polygon in the city. The modeling results revealed that the BGI of Kyiv, in its current state, can cool surfaces by up to 16°C. This cooling effect is most pronounced in large forested areas and along the Dni-pro River. The most effective cooling occurs in UGS when they occupy more than 90% of the polygon and have a permeability (perimeter-to-area ratio) of up to 10 km/km<sup>2</sup>. By determining the efficiency in this manner, it was possible to assess the volumes of heat reduction ecosystem services (**Tables 4, 5**).

The urban BGI in Kyiv, in its current state, provides a significant level of heat reduction in most cases, with 33% and 30% of the polygons showing average and above-average levels, respectively (**Table 4**).

The data in **Table 5** demonstrate that among the analyzed green spaces of the city, in 16.7% of cases,

they provide their maximum ES. At the same time, it becomes evident that the rest of the areas require changes to enhance their efficiency in cooling the city.

### The novelty of the study

The data obtained regarding the impact of the urban BGI on the mitigation of heat islands and individual UGS on the microclimate formation in specific city areas represent valuable information that can assist urban planners in minimizing the effects of UHI throughout the entire city and in specific districts. Additionally, identifying the effectiveness of individual green spaces serves as a useful way to demonstrate their role and value in combating heat islands. This research also aids in identifying efficient strategies for designing BGI and establishing a sequence of managerial decisions to achieve the greatest impact in combating heat effects. Undoubtedly, this is crucial for ensuring sustainable urban development.

This work was conducted within the framework of the project “Technology for geoinformation assessment of ecosystem services providing by urban green areas,” funded by the European Union’s external assistance instrument to fulfill Ukraine’s commitments under the European Union’s Framework Program for Research and Innovation Horizon 2020.

### References [Листопам'ятка]

1. Monteiro, M., Doick, K., Handley, P. & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 160–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>.
2. Marando, F., Salvatori, E., Sebastiani, A., Fusaro, L. & Manes, F. (2019). Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome. *Italy, Ecological Modelling*, 392, 92–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>.
3. Svidzinska, D. & Korohoda, N. (2020). Study of spatiotemporal variations of summer land surface temperature in Kyiv, Ukraine using Landsat time series. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*, 1, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo106>.
4. Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T. & Pauleit, S. (2017). Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions. *Building and Environment*, 114, 118–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.013>.
5. Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J. & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81 (3), 167–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>.
6. Chun, B. & Guldmann, J.-M. (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers. Environ. Urban Syst.*, 71, 165–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006>.
7. Lee, S. & Kim, Y. (2021). A framework of biophilic urbanism for improving climate change adaptability in urban environments. *Urban For. Urban Green*, 61, 127104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127104>.
8. Huamei, S. & Kim, G. (2022). A Comprehensive Review of Different Types of Green Infrastructure to Mitigate Urban Heat Islands: Progress, Functions, and Benefits. *Land*, 11(10), 1792. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101792>.

9. Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D. & Boemi, N. (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landsc. Urban Plan.*, 123, 73–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.002>.
10. Motazedian, A., Coutts, A.M. & Tapper, N.J. (2020). The microclimatic interaction of a small urban park in central Melbourne with its surrounding urban environment during heat events. *Urban For. Urban Green.*, 52, 126688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126688>.
11. Doick, K. J., Peace, A. & Hutchings, T. R. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of The Total Environment*, 493, 662–671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>.
12. Feyisa, G. L., Dons, K. & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>.
13. Teo, Y. H., Makani, M. A. B. H., Wang, W., Liu, L., Yap, J. H. & Cheong, K.H. (2022). Urban Heat Island Mitigation: GIS-Based Analysis for a Tropical City Singapore. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(19), 11917. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph191911917>.
14. Zhang, Y., Murray, A. T. & Turner, B.L. (2017). Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. *Landscape and Urban Planning*, 165, 162–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>.
15. Hamel, P., Guerry, A.D., Polasky, S. et al. (2021). Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. *npj Urban Sustain* 1, 25. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00027-9>.
16. Brychnyk, V. & Korohoda N. (2019). GIS analysis of the phenomenon of urban heat island on the example of Kyiv for 1992-2018. *Physical geography and geomorphology*, 4 (96–98), 29–35. [in Ukrainian]. [Бричник В. ГІС-аналіз феномену міського острова тепла на прикладі м. Києва за 1992-2018 рр. / В. Бричник, Н. Корогода // Фізична географія та геоморфологія Вип. 4–6 (96–98), 2019, С. 29–35.] DOI: <https://doi.org/10.17721/phgg.2019.4-6.03>.
17. Cheung, P. K. & Jim, C. Y. (2019). Differential cooling effects of landscape parameters in humid-subtropical urban parks. *Landsc. Urban Plan.*, 192, 103651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103651>.
18. Cook, M., Schott, J.R., Mandel, J., & Raqueno, N. (2014). Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the archive. *Remote Sensing*, 6(11), 11244–11266. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6111244>.
19. NASA Landsat Program, 2022, Landsat OLI/TIRS scene LC91810252022171LGN01, L1T, USGS, 2022/06/20 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
20. NASA Landsat Program, 2022, Landsat OLI/TIRS scene LC81810252022163LGN00, L1T, USGS, 2022/06/12 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
21. NASA Landsat Program, 2021, Landsat OLI/TIRS scene LC81810252021208LGN00, L1T, USGS, 2021-07-27 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
22. NASA Landsat Program, 2020, Landsat OLI/TIRS scene LC81810252020158LGN00, L1T, USGS, 2020/06/06 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
23. NASA Landsat Program, 2019, Landsat OLI/TIRS scene LC81810252019219LGN00, L1T, USGS, 2019/08/07 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
24. NASA Landsat Program, 2019, Landsat OLI/TIRS scene LC81810252018152LGN00, L1T, USGS, 2018/06/01 URL: <https://glovis.usgs.gov/>
25. Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>.
26. OpenStreetMap contributors, <https://www.openstreetmap.org>, 2023
27. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.
28. Skelhorn, C. Lindley, S. & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129–140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>.
29. Oliver, M.A. & Webster, R. (2015). *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging*. SpringerBriefs in Agriculture. Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15865-5>.
30. Korohoda, N., Kovtoniuk, O. & Halahan, O. (2023). Kyiv green areas: assessment of the functioning efficiency and volumes of ecosystem services for erosion control. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32 (3), 516–524. DOI: <https://doi.org/10.15421/112346>.
31. Korohoda, N. & Kupach, T. (2023). Assessment of the volume of provision of cultural ecosystem services by Kyiv green zones. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology,"* 58, 159–170. [in Ukrainian]. [Корогода Н. Оцінка обсягів надання культурних екосистемних послуг зеленими зонами міста Києва / Н.П.Корогода, Т.Г. Купач // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія» 2023, Вип. 58. С. 159 – 170.] DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13>

32. Korohoda N. (2023). Assessment of ecosystem traffic noise reduction service in the urban landscapes. *Landscape Science*, 3(1), 56–67. [in Ukrainian]. [Корогода Н. Оцінка екосистемних послуг зі зниження рівня шуму від дорожнього руху у міських ландшафтах / Н. Корогода // Ландшафтознавство, 2023, Вип. 3(1), С. 56–67.] DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-3-56-67>.
33. Korohoda N. (2024). Assessment of the effectiveness of green spaces in biodiversity conservation (on the example of Kyiv urban landscapes). *Landscape Science*, 5 (1), 56–66. [in Ukrainian]. [Корогода Н. Оцінка ефективності зелених зон у збереженні біорізноманіття (на прикладі міських ландшафтів Києва) / Н. Корогода // Ландшафтознавство, 2024, Вип. 5 (1), С. 56–66.] DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2024-5-56-66>.
34. Harrington, E.C. (1965). The desirable function. *Industrial Quality Control*, 21(10), 124–131.

The article was received by the editorial office on 09/19/2024, accepted for publication on 01/20/2026.


Корогода Н. П.

 0000-0003-1518-2997,

| Галаган О. О.

 0000-0003-1449-3638

Купач Т. Г.

 0000-0001-8710-7107,

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## Оцінка екосистемних послуг з пом'якшення впливу островів тепла, що надаються міськими зеленими зонами Києва

УДК 911.375.64:551.588.7:504.06(477.411)

Міська синьо-зелена інфраструктура (СЗІ) надає екосистемні послуги (ЕП) з охолодження (пом'якшення впливу «островів» тепла). Обсяги ЕП залежать від ефективності СЗІ у виконанні функції охолодження. Мета роботи — оцінити ЕП з пом'якшення впливу «островів» тепла, що надає СЗІ міста загалом та окремі міські зелені зони (МЗЗ) зокрема. Оцінювання включало: моделювання «функції охолодження» і визначення ефективності та обсягів ЕП, що надаються СЗІ. З'ясовано, що в м. Києві СЗІ охолоджує поверхні до 16°C. Найменш ефективними виявились зелені насадження, що займають 23–29 % площі полігону і мають перфорованість 70–80 км/км<sup>2</sup>, а найефективнішими виявились ті, що займають 90 % площі із перфорованістю до 10 км/км<sup>2</sup>. СЗІ забезпечує ЕП з охолодження в середніх (33 % випадків) та вище середніх (30 % випадків) обсягах. 16,7 % міських зелених зон надають ЕП в максимальних обсягах, у той час як інші потребують заходів з підвищення їхньої ефективності.

**Ключові слова:** міський «острів» тепла; міські зелені зони; синьо-зелена інфраструктура; екосистемні послуги; оцінка.

### Цитування:

Корогода Н. П., Купач Т. Г., Галаган О. О. (2026). Оцінка екосистемних послуг з пом'якшення впливу островів тепла, що надаються міськими зеленими зонами Києва. *Український географічний журнал*, 1, 19–27. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.019>



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.028>

Imamverdiyev, N. S.

0000-0002-5573-0209

Institute of Geography of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

## Assessing Wind Energy Potential in Azerbaijan (Case of Shorabad Settlement, Khizi District)

UDC 621.548:551.55:27.19(479.24)(045)

**Abstract.** This study presents a comprehensive assessment of Azerbaijan's wind energy potential, using the Shorabad settlement in the Khizi district as a representative case study. The strategic importance of wind energy in the context of the global energy transition and climate change is highlighted, and the natural and geographical advantages of the area, as well as existing infrastructure opportunities, are examined. Analysis of long-term datasets from NASA POWER (1981–2024), the Global Wind Atlas, and local meteorological stations revealed an average annual wind speed of 5.46 m/s. This wind regime was further characterized using statistical modeling based on the Weibull distribution. The spatial variation of wind speed, land use, and proximity to the power grid was evaluated through GIS analysis. Energy yield modeling for the Vestas V90-2.0 MW turbine indicates an annual generation potential of 2.9–3.50 GWh, corresponding to a capacity factor (CF) of 0.20 under the prevailing wind conditions. Based on a conservative siting scenario (25 km<sup>2</sup> area, accommodating approximately 54 turbines with a total capacity of 108 MW), the annual energy production is estimated at 156.6–189.0 GWh/year, corresponding to approximately 0.55%–0.67% of Azerbaijan's annual electricity generation. The findings indicate that Shorabad possesses favorable characteristics, including flat topography, limited vegetation, and proximity to existing infrastructure, which collectively render it a suitable location for a wind power project (WPP).

**Keywords:** *Wind energy; Shorabad settlement; Khizi district; GIS analysis; Weibull distribution; Renewable energy.*

### Introduction

Renewable energy sources (RES), particularly wind energy, have come to play an increasingly vital role in the global energy mix. Global goals such as ensuring energy security, combating climate change, and reducing carbon emissions have made wind energy a strategically important energy source. Over the past decades, technological developments have increased the efficiency of wind turbines and significantly reduced the cost of energy production. The global installed capacity of renewable energy has reached 4,443 GW, with most of this growth coming from solar (597 GW) and wind (117 GW) [1]. In 2024, wind energy accounted for approximately 8.1% of

global electricity production, or 2,494 TWh [2]. In the global “clean energy” structure, wind energy accounted for 14%, and, according to the International Energy Agency, will grow at an annual rate of at least 17% by 2030, reaching 7,100 TWh [3].

Azerbaijan's energy policy has become even more relevant in light of commitments under the Paris Climate Agreement and the “green energy zones” established in Karabakh and Eastern Zangezur. The country's location on the western coast of the Caspian Sea is characterized by strong wind currents, making it one of the region's countries with the most favorable wind energy potential [4]. In particular, the Khizi district and the Absheron Peninsula are character-

#### For citation:

Imamverdiyev, N. S. (2026). Assessing Wind Energy Potential in Azerbaijan (Case of Shorabad Settlement, Khizi District). *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 28–40. [in English]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.028>

Copyright © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

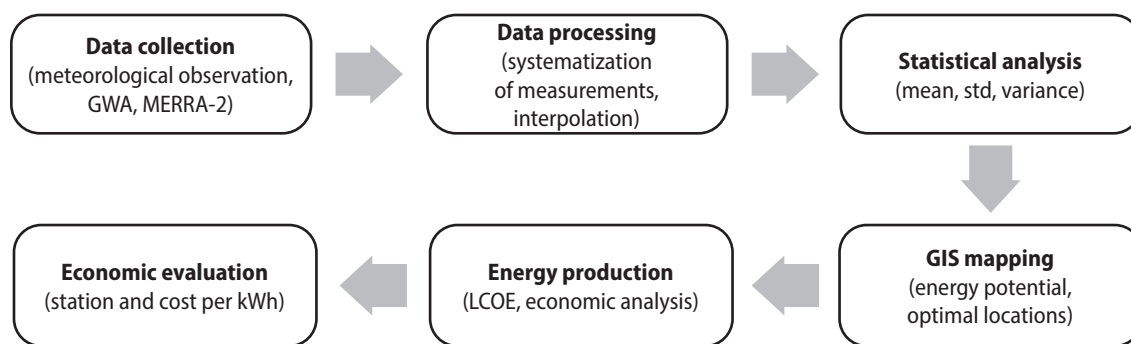


Fig. 1. Methodological workflow of the study

ized by high wind speeds. According to hydrometeorological observations, the average annual wind speed in these areas ranges from 5 to 8 m/s, which is an optimal indicator for the efficient operation of wind farms.

Shorabad, Yeni Yashma, and Sitalchay in the Khizi district feature flat terrain, sparse vegetation, and proximity to power and transport infrastructure. These physical, geographical, and infrastructural factors, particularly regarding transportation, wind turbine installation, and connection to the existing power grid, make the area a suitable location for wind farm construction. Despite the presence of operational wind farms in the district, the need to develop additional projects remains pressing, both to accommodate the country's annual growth in electricity demand (~1.5%), expand energy infrastructure, and enhance the contribution of RES.

The main objective of this study was to assess the wind energy potential of the Shorabad area from a technical and economic perspective and to justify the feasibility of a new WPP. However, existing studies on wind energy development in Azerbaijan exhibit several important limitations. Modern, high-resolution wind data remain scarce; the number of long-term meteorological stations is limited; and site-specific assessments that integrate infrastructure, environmental constraints, and techno-economic feasibility remain lacking. In particular, despite the presence of operational wind farms in the Khizi district, the Shorabad area has not previously been evaluated using a comprehensive, GIS-based, multi-source analytical framework. To address this gap, the methodology adopted in this study involved data collection, statistical processing, GIS mapping, Weibull modeling, and economic evaluation [5]. **Figure 1** presents the study's methodological flowchart.

Azerbaijan's total electricity production in 2024 was 28.4 billion kWh. Of this production, 24.5 billion kWh (86%) was produced by thermal power plants and 3.8 billion kWh (14%) by RES. Among renewable energy sources, 5 wind farms (63.62 MW) accounted for 50.9 GWh (0.2%). In terms of installed capacity, the country's total RES capacity is 1.8 GW (21%) [6]. The projected total production for 2025 is 29.1 billion kWh. Currently, thermal power plants are expected to produce 24.8 billion kWh (85.2%), and RES are expected to produce 4.3 billion kWh (14.8%). The contribution of wind energy to renewable energy is expected to increase to 85 GWh (0.29% of total generation) and to 2.1 GW (22% of the installed capacity of RES). Currently, three WPPs operate in the Khizi district, and one is under construction [7]. This demonstrates that the area already benefits from established infrastructure and operational experience and that it is possible to fully utilize its potential by increasing the number.

"Yeni Yasma" station—A wind farm with a total capacity of 50 MW was built by the Azerbaijan State Agency for Renewable Energy Sources in the Yasma settlement of the Khizi district with 20 2.5 MW turbines.

The "Yashma Baglari" wind farm has a design capacity of 3.6 MW.

"Shurabad" wind farm, with a design capacity of 1.7 MW.

"Khizi-Absheron" wind farm—ACWA Power is implementing a 240 MW project. The project covers the villages of Chayli and Sitalchay and is planned to be fully operational by the end of 2025. The plant will generate approximately 907 GWh of electricity per year, meeting the energy needs of more than 300,000 households [4].

There are both global and local studies on Azerbaijan's renewable energy potential. According to

the 2016 Strategic Roadmap of the Ministry of Energy, the country is planning to develop 350 MW of wind power, 50 MW of solar power, and 20 MW of bioenergy projects (Ministry of Energy, 2016) [8]. However, the share of wind power in electricity generation in 2024 was only 0.2% [6]. The renewable energy potential of Azerbaijan was analyzed using a systematic review, and opportunities for solar and wind power were assessed [9]. The study highlights the country's strategy to transition from the oil and gas industry to carbon-free energy but notes obstacles, including a weak legal framework and a lack of specialized expertise. Having sufficient potential to increase the share of renewable energy supports energy security and the Sustainable Development Goals [10].

In previous studies, the Weibull distribution has been widely applied to assess wind resources. For example, the wind energy potential in Azerbaijan was analyzed based on ERA5 (1940–2023) data. In addition, 70 million hours of observations were analyzed using Python to study wind characteristics at 24 locations using the Weibull distribution. It was found that the coastal areas have high potential, with an average wind speed of 8.01 m/s and a power density of 628.5 W/m<sup>2</sup> in Baku [2].

Most techno-economic studies in the literature are based on meteorological station or satellite data, leading to an underestimation of wind energy potential and weakening the reliability of economic decisions [11]. In contrast, a study conducted in the Bursa region of Turkey used real field measurements (12 stations, 100 m altitude, 10-minute intervals over 2 years) and evaluated Weibull distribution, turbulence, and power density parameters. The results show that the average monthly wind speed varies in the range of 4.6–11.7 m/s, has a high turbulence index (0.54), and the lowest LCOE was achieved with the Goldwind turbine. This approach emphasizes the importance of considering sector-specific measurements and alternative economic analyses, such as LCOE, in both political and economic decision-making processes [12].

Another article analyzed the wind energy potential in Turkmenistan using wind speed statistics. The average annual wind speed is 3–6 m/s, and in May–July it is 5–6 m/s. Analysis of Disa A300, Terex TW 600, and Direct Wind 900/52 turbines showed that energy production is higher during this period. The use of wind energy can improve social conditions and lower prices. The results create a theoret-

ical basis for government programs [13]. In another investigation, an analytical expression for wind power using Rayleigh, Weibull, and log-normal distributions was obtained via mathematical transformation and demonstrated that this method yields more accurate results. In an applied study conducted on Pirallahi Island, the Weibull distribution was found suitable for small-scale turbines, and the capacity factor was estimated at 44% [14].

Despite the growing body of international literature, most existing studies either focus on national-scale assessments or rely on single-source datasets. In contrast, site-specific hybrid assessments that integrate long-term reanalysis data, high-resolution wind atlases, and GIS-based spatial constraints remain limited in Azerbaijan. Therefore, this study addresses a clear methodological gap by combining multi-source wind datasets with geospatial modeling and techno-economic evaluation for a previously underexplored area [15].

The study area includes the settlement of Shorabad, located in the Khizi region of Azerbaijan on the western coast of the Caspian Sea (40°49'08"N, 49°28'19"E). Covering approximately 25 km<sup>2</sup>, it has a flat landscape, minimal vegetation, and a semi-arid climate. Being surrounded by northerly and northeastern winds and located near the Caspian Sea, it experiences optimal wind speeds, with an annual average of 5–8 m/s [16]. Being near transportation routes, electrical power lines, and existing wind farms enhances the technical feasibility of developing wind energy, thereby qualifying it as a case study site for assessing wind resources.

## Materials and Methods

This study used a multi-stage approach to assess the technical and economic potential of wind energy development using the Shorabad area as a case study. Three turbine models were selected based on their technical suitability for the local wind regime and power characteristics. The selected turbines include the Vestas V90-2.0 MW, Siemens Gamesa SG 2.0 MW, and Nordex N100-2.4 MW. Among these, the Vestas V90-2.0 MW turbine was selected as the reference model due to its compatibility with moderate wind speed conditions. The turbine operates within a wind speed range of 4–25 m/s and reaches its rated power at 12 m/s. The hub height varies between 60 and 100 m, while the swept area is 6,362 m<sup>2</sup>, determined solely by the rotor diameter (90 m) and independent of hub height [14].

### Data sources

NASA POWER (1981–2024) datasets were analyzed to obtain daily, monthly, and annual average wind speed (m/s) and direction (°). For calculations, the average wind speed for the area was determined from long-term observations. As a result of the analysis of climate data for 1981–2024, the average annual wind speed for the Shorabad area is 5.46 m/s [17]. Based on this indicator, the Weibull distribution ( $k \approx 2.8$ ,  $c = 6.12$  m/s) was applied. The Weibull distribution is the most commonly used statistical model in wind energy calculations, as it accurately describes the probability distribution of wind speeds [18].

The data used in the study were obtained from the following sources:

- Monthly average wind speed and direction data for the Khizi district of Azerbaijan for 2010–2024 were obtained from the Global Wind Atlas meteorological resources.
- Field observations and photographs-visual materials (infrastructure, relief, and vegetation) were collected by the author in 2025.
- Geographical Atlas of Azerbaijan (2018) and other literature sources.

### Energy Calculations

- *Turbine:* Vestas V90-2.0MW
- *Hub height:* 90 m
- *Swept area:* 6,362 m<sup>2</sup> (depends on rotor diameter only)
- *Cut-in speed:*  $V_{ci} = 4$  m/s
- *Rated speed:*  $V_r = 12$  m/s
- *Cut-out speed:*  $V_{co} = 25$  m/s
- *Average annual wind speed:*  $\bar{V} = 5.46$  m/s
- *Standard deviation:*  $\sigma = 2.1$  m/s

Weibull parameters (1):

$$k = \left( \frac{\sigma}{\bar{V}} \right)^{-1.086} \approx 2.82, \quad (1)$$

$$c = \frac{\bar{V}}{1 + \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)} \approx 6.13 \text{ m/s},$$

where  $\bar{V}$  is the mean wind speed,  $\sigma$  is the standard deviation, and  $\Gamma$  is the Gamma function. These parameters are used to determine the probability density of the wind speed according to the Weibull distribution. Equation (1) shows a standard methodology for initial parameter estimation. However, for the terrain-specific conditions of the Shorabad area, the refined parameters  $k \approx 2.8$  and

$c = 6.12$  m/s were used for all subsequent energy calculations. These refined parameters were adopted to better reflect terrain-specific wind conditions and to reduce bias associated with standard estimation methods in semi-arid, low-roughness landscapes.

Probability density functions according to the Weibull distribution (2):

$$f(V) = \frac{k}{c} \left( \frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left( - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right), \quad (2)$$

where  $V$  is the wind speed,  $k$  and  $c$  are the Weibull parameters,  $f(V)$  is the probability density of the wind at speed  $V$ .

Annual Energy Production (AEP) (3):

$$E = \int (V_{co}, V_{co}) P(V) f(V) dV, \quad (3)$$

$$E \approx P_{\text{rated}} \times CF \times 8760 \text{ h/il}$$

$$\approx 2 \text{ MW} \times 0.20 \times 8760 \text{ h} \approx 3.50 \text{ GWh/il},$$

where  $P(V)$  is turbine power on the speed-power curve (kW);  $f(V)$  is the probability density function of wind speed on the Weibull distribution;  $V_{ci}$  and  $V_{co}$  are cut-in and cut-out speeds respectively;  $CF$  – capacity factor (effective turbine operating rate).

### GIS Analysis

GIS analysis was performed in ArcGIS 10.8:

- the wind speed of the area was interpolated in a range of 200 m;
- distances to power lines, highways, and other infrastructure facilities were determined;
- land use/land cover analysis was performed;
- the optimal location points of the turbines were selected using a multi-criteria decision support system (MCDA).

### Turbine density calculation

For optimal turbine placement, a conservative turbine spacing configuration (8D × 5D) has been applied in accordance with international standards, where  $D$  represents the rotor diameter (90 m). This approach minimizes aerodynamic shadowing between turbines and reduces energy losses. According to the calculations, each turbine requires an area of approximately 0.324 km<sup>2</sup> (720 m × 450 m). As a result, a maximum of 77 turbines can be placed on a potential area of 25 km<sup>2</sup>. However, given practical constraints (relief, infrastructure, environmental factors), a conservative scenario of 54 turbines has been adopted for the project.

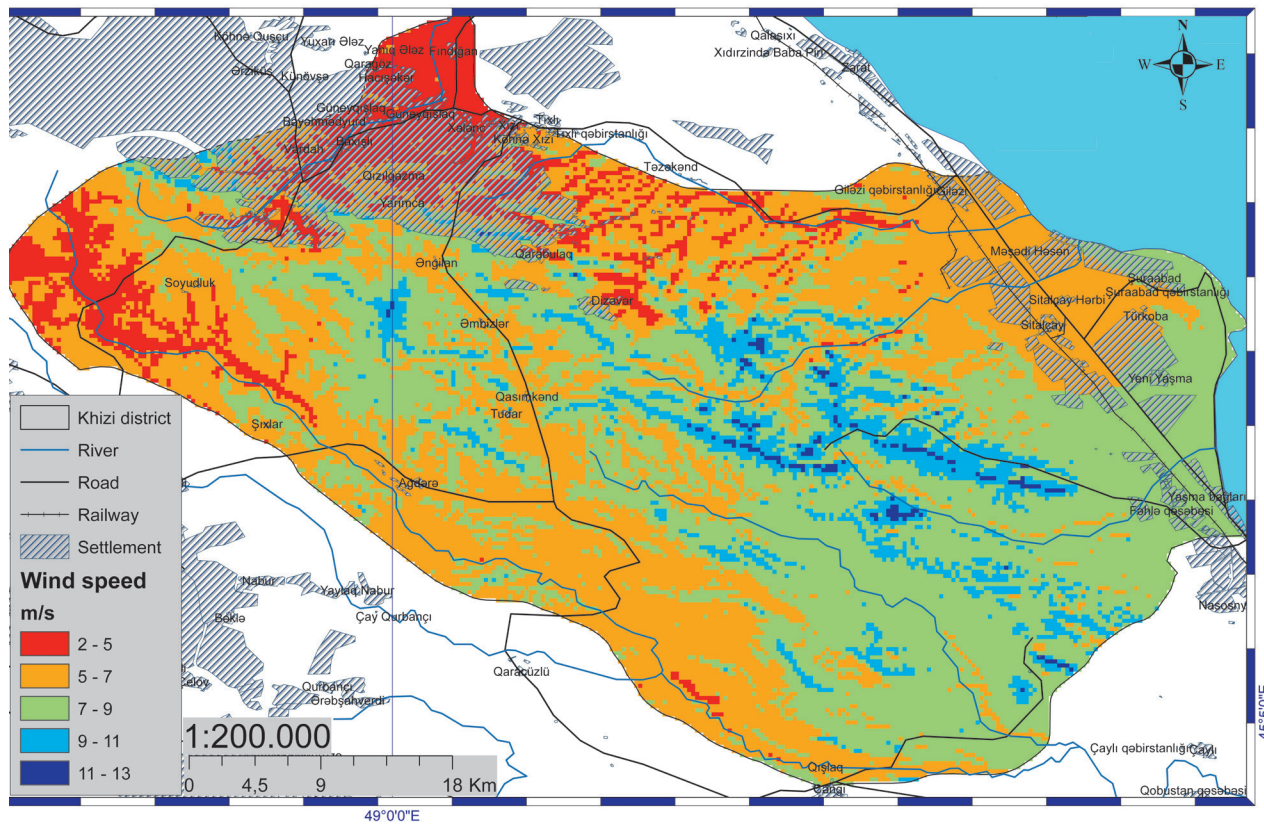


Fig. 2. Wind speed distribution in Khizi district (WS10M) (GWA, 2025)

This study applies an indirect, benchmark-based validation approach rather than classical in-situ validation, a methodological limitation inherent to data-scarce regions.

**Statement of basic materials**

*Data comparison*

Our analysis yielded an average annual wind speed of 5.46 m/s for the period 1981–2024. Data from NASA POWER (1981–2022) were deemed the most reliable long-term benchmark after compari-

son with GWA and local meteorological station data. First, the spatial distribution of wind resources in the Khizi district was analyzed using GWA v3 data (Table 1). These data were calculated at a spatial resolution of 250 m using the WRF mesoscale model and WAsP micro-relief corrections based on ERA5 reanalyses for 2008–2017. The results show that the average annual wind speed in areas such as Shorabad and Sitalchay is in the range of 7–11 m/s, and there are favorable conditions for the construction of WPPs (Fig. 2). Due to the limited resolution of NASA POWER and GWA data, some differences

Table 1. Comparison of wind speed datasets for the Shorabad area

Data Source	Period	Spatial Resolution	Height (m)	Average Annual Wind Speed (m/s)	Notes
NASA POWER	1981–2024	0.5° × 0.5° (~55 km)	10	5.46	Provides long-term, stable climate averages; coarse resolution may smooth local terrain effects.
Global Wind Atlas (GWA v3.3)	2008–2017	250 m	50	7–11	High-resolution model including WRF + WAsP micro-terrain corrections; can overestimate speeds in complex terrain.
Local Meteorological Station (Khizi)	2010–2023	Point measurement	10	5.5	Closest real measurements; supports NASA results for near-surface wind conditions.

**Table 2. 3-year average wind speed (WS10M) for the period 1981–2024 at Shorabad [17]**

Years	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann.
1981/83	5.8	5.51	6.3	5.3	4.4	4.6	5.1	4.9	5.1	6.1	6	5.7	5.4
1984/86	6.1	5.5	5.6	5.1	4.5	4.7	5.1	5.8	5.8	6.1	5.7	5.8	5.5
1987/89	5.4	5.7	5.9	5.4	5.3	4.0	5.0	5.4	6.0	5.7	6.2	5.8	5.5
1990/92	5.3	6.1	5.3	5.2	5.0	4.1	4.7	5.1	6.0	6.1	6.0	5.4	5.4
1993/95	5.8	5.8	6.0	5.1	4.4	5.1	5	5.4	5.7	6.3	6.1	5.4	5.5
1996/98	5.1	6.4	5.9	5.2	4.4	4.6	5.0	5.3	6.4	6.2	5.6	5.8	5.5
1999/01	5.4	5.9	6.0	4.2	4.9	5.0	4.6	5.4	5.9	5.5	6.0	5.4	5.3
2002/04	5.2	5.4	5.3	5.1	4.0	5.2	4.4	4.8	5.3	6.0	5.6	6.2	5.2
2005/07	6.1	6.0	5.5	5.0	4.9	5.1	4.8	4.6	5.8	5.6	6.0	5.7	5.4
2008/10	5.9	5.8	5.5	4.8	4.1	4.4	4.9	4.5	5.5	6.0	5.8	5.9	5.3
2009/11	5.7	6.0	5.6	5.2	3.7	4.3	4.8	4.6	5.4	6.0	5.8	6.0	5.3
2012/14	5.4	6.0	6.4	4.9	4.0	4.8	4.7	5.1	5.6	5.9	5.4	6.2	5.4
2015/17	6.0	6.0	6.0	6.0	4.3	4.7	5.4	4.8	6.2	6.2	6.2	6.2	5.7
2018/20	5.7	5.6	6.0	5.6	5.0	4.6	5.3	5.2	5.2	5.8	5.8	5.8	5.5
2021/24	6.15	5.2	5.6	5.4	5.1	4.6	4.8	4.4	5.4	6.1	6.0	5.8	5.4

in micro-relief and local climatic conditions may occur.

Due to its coarse spatial resolution ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ), the NASA POWER dataset tends to smooth out micro-relief and local aerodynamic variations, resulting in slightly lower wind-speed estimates. In contrast, GWA applies high-resolution (250 m) WRF-WAsP downscaling, which can yield higher values, especially in exposed or elevated terrain.

According to GWA data [19], the annual average wind speed is 2 m/s higher than the NASA POWER data at 50 relative altitudes. The  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  spatial resolution of the MERRA-2 datasets may not adequately capture micro-relief variations in small areas such as Shorabad. The average annual wind speed is also 5.5 m/s based on local meteorological observations (Geographical Atlas, 2018). The climatic characteristics of the area were further analyzed based on NASA POWER data [20].

According to NASA POWER data, the average WS10M (wind speed at 10 m height) at the site (Location: Latitude 40.8145, Longitude 49.478910) is 5.46 m/s, and the average WS50M (wind speed at 50 m height) at the site is approximately 6.8 m/s [17]. Statistical analysis of WS data covering the period 1981–2024 allows us to trace the long-term dynamics of the wind regime in the region. The average monthly wind speed ranges from 3.5 to 7.0 m/s, indicating that the wind regime differs sharply across seasons. According to preliminary

results, wind speed is higher in winter and autumn and lower in summer and spring. The annual average wind speed (ANN) ranged from 5.3 to 5.7 m/s, confirming the presence of wind energy potential in the region. Overall, the long-term trend shows a weak positive or neutral tendency.

WS50M data covering the period 1981–2024 allows us to study the long-term changes in the wind regime in the district. In general, the monthly average wind speed ranged from 5.0 to 9.5 m/s. The annual averages are mostly concentrated in the 6.5–7.2 m/s range. The seasonal distribution of WS50M average wind speeds is as follows:

- **Winter (December-February):** The highest speeds are recorded (for example, 9.46 m/s in March 2014, with similar increases in 2017 and 2016), strong baric contrasts and frontal activity intensify the regional wind regime during this period.
- **Summer (June-August):** Characterized by relatively weak winds (5.0-6.5 m/s). This is due to atmospheric stability and weak pressure gradients.
- **Autumn (September-November):** This is the phase when winds increase again, in October-November, the average speed was often above 7.0 m/s.
- **Spring (March-May):** It is a transitional period with very high (8.5-9.0 m/s) recorded in some years and average values in others.

The wind rose in **Figure 3** indicates that the predominant wind directions in the region are from the north and northeast, accounting for more than

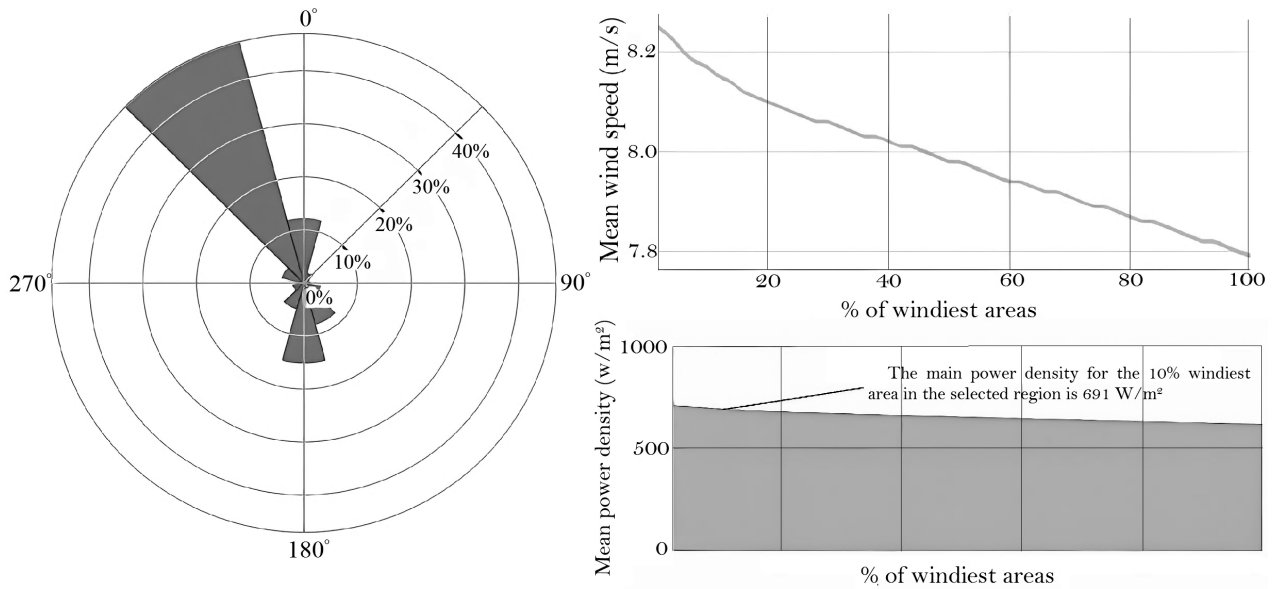


Fig. 3. Wind rose, average wind speed and power density distribution in windy areas

40% of the total. This factor indicates that it would be more efficient to place turbines in that direction. Calculations of wind speed distribution across the district confirm that the average speed in the most favorable 10% of the area is 8.2 m/s, and in weak-wind zones, it is about 7.8 m/s. Analysis of energy density also reveals important points. The average power density in the windiest 10% of the area reached approximately 691 W/m<sup>2</sup> [19]. This figure is quite high compared to international criteria and creates a favorable opportunity for the use of large-capacity turbines. Although the indicators in other areas are relatively lower, they remain above 500 W/m<sup>2</sup> on average, which is economically acceptable.

A comparison of WS10M and WS50M shows more promising conditions for wind energy. Thus, the seasonal dynamics in both series are similar: winter-autumn is stronger, and summer-spring is weaker. WS50M values are consistently 1.0–1.5 m/s higher than WS10M, which can be explained by reduced surface friction at higher altitudes. Long-term trends are stable in both series, but WS50M has more “peak” years (2014, 2016, 2017) [17].

*Energy production*

Calculations based on the Weibull distribution ( $k \approx 2.8$ ) show that under these conditions, the Capacity Factor varies in the range of approximately 0.20, and the annual energy production is approximately 2.9–3.50 GWh. This value is lower than the previous calculation based on the wind speed of

6.5 m/s (3.85 GWh) and gives a result more consistent with real conditions. In Figure 4, the blue curve shows the turbine power output (in kW) at different wind speeds, while the red curve shows the probability density of wind speeds observed in the Shorabad region based on the Weibull distribution. The graph shows that the turbine’s maximum power output (2.0 MW) occurs at a wind speed of 12 m/s. Based on the Weibull parameters calculated for Shorabad ( $k \approx 2.8$ ,  $c = 6.12$  m/s), the annual energy production of the turbine is predicted to be in the range of 2.9–3.50 GWh.

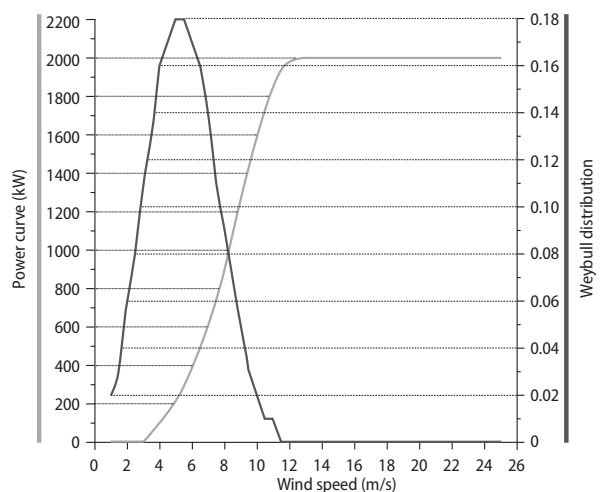


Fig. 4. Power curve and estimated energy production based on the Weibull distribution of the selected Vestas V90-2.0 MW turbine [7]

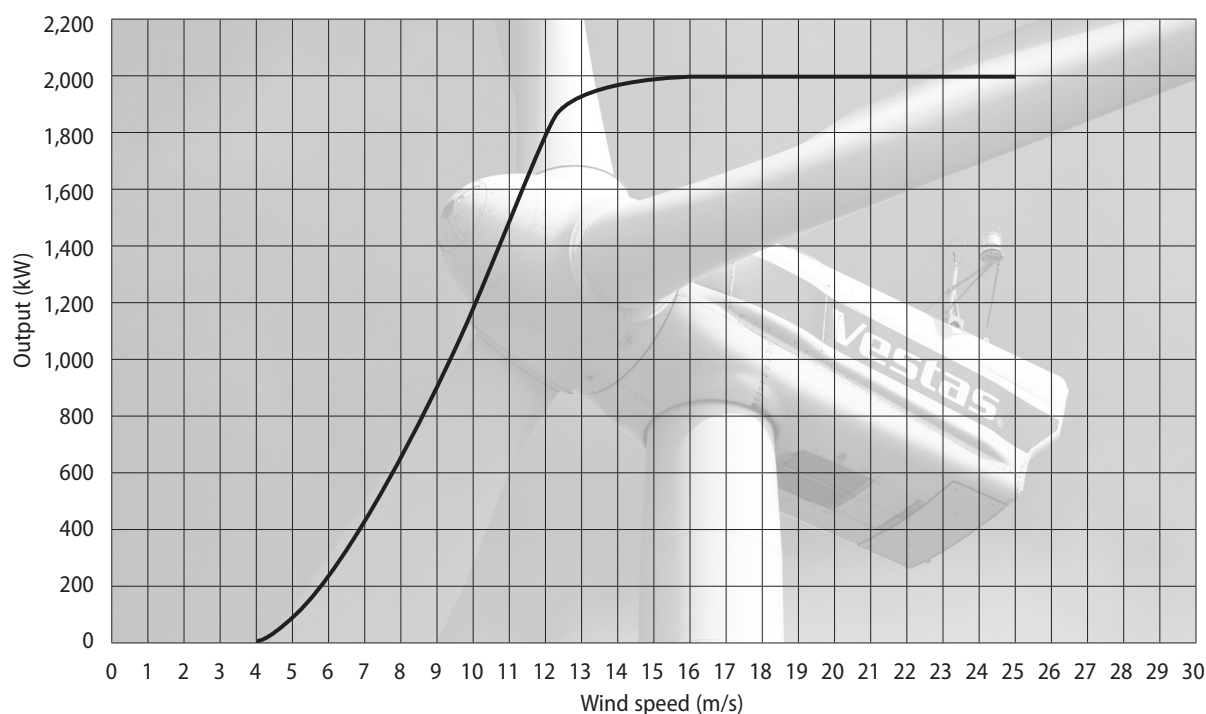


Fig. 5. Annual energy production graph for Vestas V90-2.0 MW [21]

The technical data of the manufacturer of the selected turbine model—Vestas V90-2.0 MW—also supports these results. The turbine starts operating at a speed of 4 m/s, reaches its rated power at a speed of 12 m/s, and stops operating at a speed of 25 m/s (Fig. 5). These parameters are optimal compared to the average wind speed of Shorabad and indicate that the turbine provides stable energy production even when operating in sub-rated mode [21].

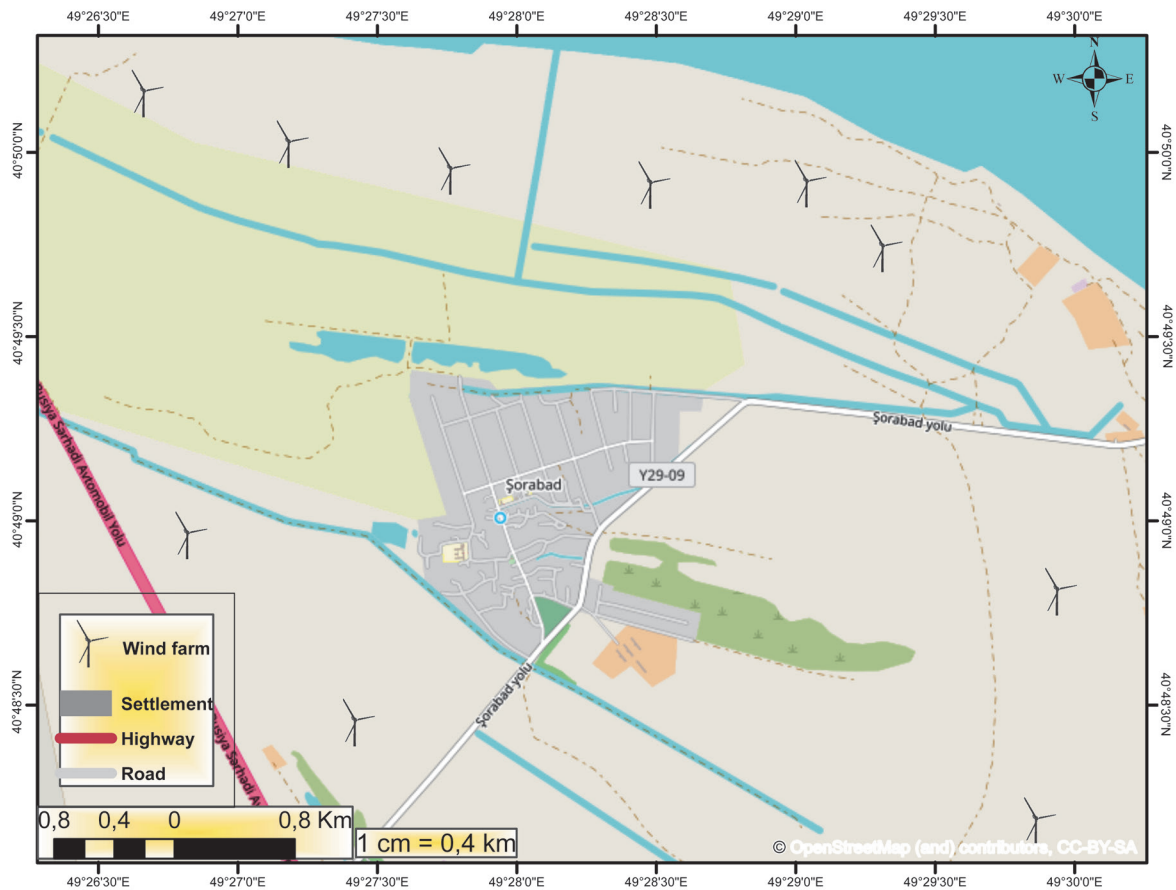
Analysis of the technical data shows that the swept area (6.362 m<sup>2</sup>) and hub height (80–125 m) of the V90-2.0 MW turbine are compatible with the terrain of the Shorabad area. This allows for both increased aerodynamic efficiency and simplified integration into the power grid. In addition, technological advantages such as Load and Power Modes, the CoolerTop® cooling system, and noise level control (Noise Modes) specified in the Vestas catalog make the turbine more compatible with the social and environmental environment [22]. For example, reducing noise levels in areas close to residential areas is considered an important factor in semi-rural settlements such as Shorabad. This turbine, optimized for sites with average wind speeds of 6–8 m/s, has a nominal capacity of 2.0 MW (Table 3). The swept area (6.362 m<sup>2</sup>) and hub height (80–125 m)

Table 3. Main technical parameters of the Vestas V90-2.0 MW turbine

Parameter	Value (V90-2.0 MW)
Rated power	2.0 MW
Rotor diameter	90 m
Swept area	6.362 m <sup>2</sup>
Cut-in speed	4 m/s
Rated wind speed	12 m/s
Cut-out speed	25 m/s
Hub height	80–125 m
Nominal rotation speed	14.5 rpm
Operating temperature	–20–40 °C
Sound level (Mode 0)	104 dB(A)
Wind class	IEC IIIA

are highly compatible with the terrain and wind conditions of the Shorabad area [21].

The manufacturer provides a graph of AEP. Here, the gross AEP for an average speed of 5.46 m/s is estimated to be approximately 4.1–4.3 GWh, while the net AEP taking into account typical losses varies in the range of 2.9–3.50 GWh per turbine. For a Vestas V90-2.0 MW turbine, the gross AEP in the Shorabad area is 4.1–4.3 GWh, and the net AEP is 2.9–3.50 GWh due to losses. The losses are divided into categories: aerodynamic (8–12%,



**Fig. 6.** Potential areas for the construction of wind turbines in Shorabad settlement (based on GWA data)

0.33–0.52 GWh), network (5–7%, 0.21–0.30 GWh), and technical outages (5–8%, 0.21–0.34 GWh). The total losses are 18–27% of the gross AEP, which is in line with international standards (typical losses: 15–25%).

In addition, reliability indicators are particularly important. The availability of the Vestas 2 MW platform, which exceeds 98%, and the 24/7 remote control system (SCADA) reduce future operating costs and minimize the risk of accidents.

Annual energy production is calculated using the 3rd equation with a capacity factor of 0.20 corresponding to the net CF range for 5.46 m/s. Based on the power generation curve of the Vestas V90-2.0 MW turbine, the gross AEP at a wind speed of 5.46 m/s is estimated as  $\approx 4.1$ – $4.3$  GWh [21]. Taking into account typical losses (grid/electricity  $\approx 5$ – $7\%$ , aerodynamic/parking effect  $\approx 8$ – $12\%$ , and planned and sudden shutdown  $\approx 5$ – $8\%$ ), the net AEP will be  $\approx 2.9$ – $3.50$  GWh. Accordingly, the net capacity factor is estimated to be  $\approx 0.20$ . This value realistically represents the energy production potential of V90-2.0 MW turbines in the Shorabad wind conditions. The low CF is due to the relative-

ly low wind speed of Shorabad (optimal: 6–8 m/s), seasonal variability (summer: 5.0–6.5 m/s, winter: 7.0–9.5 m/s), and losses (aerodynamic: 8–12%, network: 5–7%, technical: 5–8%).

A spacing of  $8D \times 5D$  ( $D = 90$  m) was used in accordance with international wind farm layout standards. Under ideal, unconstrained conditions, this spacing allows for a theoretical maximum of 77 Vestas V90-2.0 MW turbines within the 25 km<sup>2</sup> study area. However, theoretical capacity does not reflect practical constraints. After excluding non-developable zones such as infrastructure corridors (roads, transmission lines), relief irregularities, ecological buffer zones, and areas where wake losses would significantly exceed acceptable thresholds, the realistic installable capacity is reduced to approximately 54 turbines. This “conservative scenario” reflects standard industry practice and provides a technically valid estimate for energy production calculations (Fig. 6). The total installed capacity for this project reaches 108 MW. Since the annual production capacity of a turbine ranges from 2.9 to 3.50 GWh, the theoretical energy production for the entire park is estimated at 156.6 to 189.0 GWh/year. Howev-

er, in real conditions, due to aerodynamic shading, network losses, technical outages, and other factors, this volume is expected to decrease by approximately 10–15% to 133–170 GWh/year.

The satellite images and maps presented in Figure 6 clearly show the spatial distribution of potential sites. The identification of these optimal sites considered not only wind resource availability but also key geographical and infrastructural factors. As illustrated, the study area is characterized by predominantly flat terrain and sparse vegetation. This topography minimizes aerodynamic obstacles, enhances turbine efficiency, and simplifies transportation and installation. Furthermore, the selected areas exhibit low agricultural activity and are close to existing infrastructure, such as roads and power transmission lines. This significantly reduces construction costs, facilitates grid integration, and creates logistical advantages during both construction and operation phases. Collectively, these characteristics enhance the project's overall feasibility and provide a strong basis for optimal wind farm siting, ensuring not only high energy yield but also socio-technical compatibility [5].

## Discussion

### *Interpretation of wind regime and energy yield*

From an interpretative perspective, the obtained wind regime characteristics of Shorabad can be explained by both atmospheric circulation patterns and local surface conditions. This limitation should be taken into account when analyzing the results. The consistently higher WS50M values compared to WS10M reflect the decreasing influence of surface roughness and aerodynamic barriers with increasing altitude. This vertical wind profile explains the observed capacity factor of approximately 0.20, which is typical for regions with moderate average wind speeds and pronounced seasonal variability. Winter and autumn months exhibit stronger wind conditions, whereas summer periods are characterized by weaker atmospheric dynamics, directly influencing annual energy yield.

The average annual wind speed of 5.46 m/s indicates that the area offers suitable conditions for the construction of WPPs from a technical and economic perspective. These results are consistent with local and international databases, especially those provided by GWA, and confirm once again that the Caspian littoral regions of Azerbaijan are high-potential wind zones [4].

### *Comparison with regional and international studies*

When compared with the experience of neighboring countries, the capacity factor obtained for Shorabad (0.20) is on par with the indicators  $CF = 0.17\text{--}0.20$  in Georgia and  $0.16\text{--}0.19$  in eastern Turkey (same turbines — Vestas V90). Higher hub heights (100–125 m) or more efficient turbines can increase the CF. In addition, according to international reports, LCOE values for wind projects of similar capacity range from 40 to 60 USD/MWh, which is economically justified compared to the current electricity cost in Azerbaijan (approximately 50–55 USD/MWh) [6].

### *Limitations and uncertainties*

Despite the inherent uncertainties associated with wind resource estimation in data-scarce regions, the projected annual energy production of approximately 135–160 GWh suggests a potential economic value of 6–9 million USD, which should be interpreted as an indicative estimate rather than a definitive outcome. This fact is an important result for Azerbaijan, as the country aims to become a competitive renewable energy center in the district. On the other hand, the flat terrain of Shorabad, the sparse vegetation cover, and the proximity to power transmission lines are important factors that minimize the project's construction and operating costs. This makes the area more attractive for both local and foreign investors.

Differences observed between global datasets further underline the importance of cautious interpretation of wind resource assessments. The close agreement between NASA POWER data and local meteorological station measurements suggests that long-term reanalysis products realistically represent near-surface wind conditions in Shorabad. In contrast, the higher wind speeds reported by the Global Wind Atlas are largely associated with high-resolution WRF-WAsP downscaling, which may overestimate wind potential in small and topographically homogeneous areas. Therefore, these discrepancies should be considered an inherent uncertainty rather than a contradiction of results.

### *Socio-economic and environmental impacts*

In addition to technical and economic feasibility, the Shorabad wind farm project's social and environmental implications are significant. The Shorabad wind farm project is expected to positively impact

the local economy by creating approximately 50–100 new jobs during construction and operations. The development of infrastructure improves local energy security and delivers tangible socio-economic benefits. Environmentally, the project could reduce 60–70 thousand tons of CO<sub>2</sub> emissions per year. However, potential impacts on bird migration routes and local ecosystems should be considered. Therefore, measures such as an environmental impact assessment (EIA) and bird monitoring are recommended.

Chief among them is the coarse spatial resolution of global databases such as NASA Power and GWA, which may inadequately capture micro-scale local variations. Therefore, it is necessary to confirm the results with high-precision local measurements and conduct long-term monitoring. Since we did not conduct local field measurements in the region, the results need to be refined. In addition, selecting only one district as a sample imposes limitations on the generalizability of results on a national scale.

In semi-arid regions like Shorabad, the construction and operation of wind farms primarily affect the morphodynamic structure of the natural landscape, soil quality and properties, plant growth, and surface water movement. When soils are poor and there are few plants, these effects can be even stronger, and erosion can increase. Nevertheless, key native plant species such as *Artemisia*, *Salsola tragus*, and *Poa Vulpina* are well-adapted and usually regenerate naturally within one or two growing seasons.

The main environmental risks associated with operating a wind farm include noise (up to 45 dB), vibration, flickering shadows, and potential impacts on birds and insects. Studies have shown that the risk of bird collisions is very low (less than 0.01 per windmill per year) because the Shorabad is not on the main migratory route for birds. Proper spacing of turbines avoids airflow problems and reduces both energy loss and landscape changes. Overall, the Shorabad wind power project is environmentally suitable due to its relatively simple topography, sparse vegetation, and low levels of anthropogenic pressure. However, potential long-term risks remain, including soil salinization and landscape fragmentation. The diversity of plant communities and soil microbiota under solar and wind farms can change, increase, or decrease depending on local conditions [23]. Appropriate landscape planning and targeted restoration measures can enhance soil stability and ecosystem resilience.

## Conclusion

This study provided a comprehensive analysis and assessment of the wind energy potential of the Shorabad settlement of the Khizi district of Azerbaijan from both technical and economic perspectives. It determined the region's role in the RES market. Analysis based on long-term meteorological data, GWA, and local measurements confirms that the average annual wind speed in the Shorabad area is 5.46 m/s, which is technically viable for the efficient operation of wind turbines. Statistical modeling based on the Weibull distribution and spatial analysis supported by GIS technologies indicate that the area, with its flat terrain, sparse vegetation cover, and proximity to existing energy infrastructure, creates ideal conditions for the construction of new WPPs. The analysis confirms that the Vestas V90-2.0 MW turbines are well suited to the local wind regime, enabling the projected wind farm to produce 156.6–189.0 GWh annually under a conservative deployment scenario. While this represents a relatively modest share of Azerbaijan's overall electricity balance, it establishes an important practical and investment foundation for harnessing wind energy. These findings not only confirm the region's significant capacity to enhance energy security and reduce carbon emissions but also highlight its role as a tangible investment opportunity within Azerbaijan's renewable energy development strategy.

In addition to the technical results, the economic comparison also shows that the potential LCOE of the Shorabad wind farm is comparable to international indicators and competitive with current electricity costs in Azerbaijan. For future studies, the application of hybrid (wind-solar) energy systems, the study of higher hub heights, and a more in-depth analysis of socio-economic impacts are recommended. Consequently, the Shorabad settlement should be assessed as a priority investment area in Azerbaijan's "green energy" transition strategy. Overall, the analyses conducted show that the Shorabad wind farm has real and competitive project potential from both technical and economic perspectives. These results are of strategic importance for strengthening Azerbaijan's energy security and achieving its national renewable energy targets.

The primary limitation of this study is the absence of long-term in situ wind measurements at hub height, which constrains classical model validation. Nevertheless, the adopted hybrid geospatial and indirect benchmark-based validation frame-

work provides a scientifically robust and transferable methodology for preliminary planning, site screening, and investment decision-making in data-scarce semi-arid coastal regions, including the Caspian basin.

### Novelty

The current study is the first site-specific GIS-integrated wind assessment for Shorabad. From a scientific point of view, this work contributes to the existing literature in three directions:

1. The geographical focus was clarified by conducting a feasibility study on a specific location, such as Shorabad.
2. Wind resources were mapped using a GIS-based approach and visual materials (photographs, wind rose graphs).

3. Potential integration opportunities with existing wind farms were evaluated on a scientific basis.

From a practical perspective, the research results provide a concrete database for designing new WPPs and for informing investment decisions. Proximity to existing energy infrastructure allows for reduced construction and operational costs for the project. In addition, the incentives for reducing annual electricity demand and CO<sub>2</sub> emissions demonstrate the environmental advantages of such projects.

### Acknowledgement

The authors would like to thank the Department of Climate Science of the Ministry of Ecology and Natural Resources and the Renewable Energy Agency of the Ministry of Energy for providing the relevant data sets.

### References

1. Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2025). Renewable energy. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>.
2. Mustafayev, F., & Huseynov, R. (2024). Assessment of Azerbaijan's wind energy potential using ERA5 reanalysis data. *Renewable Energy*, 1(1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1000/renewable.2024.12345>.
3. International Energy Agency (IEA). (2025). Wind energy. URL: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/wind>.
4. Abbasov, R. K., & Aliyev, Z. S. (2023). Assessment of Wind Energy Potential in the Caspian Coastal Zone of Azerbaijan. *Renewable Energy*, 45(2), 123–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.012>.
5. Alphan, H. (2021). Modelling potential visibility of wind turbines: A geospatial approach for planning and impact mitigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111675.
6. *Energy of Azerbaijan* (2024). State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan — Baku: Statistical Bulletin. 164 p. [In Azerbaijanian].
7. AREA. 2024. Renewable energy plants. Agency for Alternative and Renewable Energy Sources. Retrieved July 2025. URL: <https://area.gov.az/>
8. Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan. (2016). Strategic Roadmap for the Development of Heavy Industry and Machinery in the Republic of Azerbaijan. URL: <https://minenergy.gov.az/uploads/Proqramlar/syx/3.pdf>.
9. Mustafayev, F., Kulawczuk, P., & Orobello, C. (2022). Renewable Energy Status in Azerbaijan: Solar and Wind Potentials for Future Development. *Energies*, 15(2), 401. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15020401>.
10. Peri, E., & Tal, A. (2020). A sustainable way forward for wind power: Assessing turbines' environmental impacts using a holistic GIS analysis. *Applied Energy*, 279, 115829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115829>.
11. Kassem, Y., Gökçekuş, H., & Abdalla, M. H. A. (2025). Wind energy resource assessment based on the use of multiple satellite data for sustainable energy production in Sudan. *Environment, Development and Sustainability*, 27(3), 7779–7815. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04221-w>.
12. Gugul, G. N., Demirhan B. G., & Baker, D. K. (2023). Techno-Economic Analysis for Wind Energy Projects: A Comparative Study with Three Wind Turbines Based on Real-Site Data. *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 3(3), 115–124. DOI: <https://doi.org/10.5152/tepes.2023.23019>.
13. Usmanov, I. Sh. Kurbanbekov, Sh. R. & Bekbaev, S. M. (2022). Assessment of the prospects for the use of wind power in the Turkestan region. *News of the Khoja Akhmet Yassawi Kazakh-Turkish International University. Mathematics. Physics. Computer Science Series*, 1(20), 1–10.
14. Gardashov, E., & Gardashov, R. (2024). On the derivation of an analytical expression for the wind power probability distribution function and the capacity factor of the turbine. *International Journal of Sustainable Energy*, 43(1), 2390447. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2024.2390447>.
15. Zahid, F., Tahir, A., Khan, H. U., & Naeem, M. A. (2021). Wind farms selection using geospatial technologies and energy generation capacity in Gwadar. *Energy Reports*, 7, 5857–5870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.084>.
16. *Geographical Atlas of the Republic of Azerbaijan*. (2018). Baku: Baku Cartography Factory. (Scientific editor: Mammadov R. M.). [In Azerbaijanian].

17. NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2025). POWER Data Access Viewer (MERRA-2). URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
18. Ismayilov, M. A., Aliyev, A. M., & Abbasov, S. H. (2025). Assessment of onshore wind energy potential in Azerbaijan using Weibull distribution analysis. *SOCAR Proceedings*. No.1 122–129.
19. *Global Wind Atlas*. (2025). World Bank Group & DTU Wind Energy. GWA (v3.3). Retrieved August 2025. URL: <https://globalwindatlas.info/en/area/Azerbaijan/Khizy>
20. Effat, H. A., & El-Zeiny, A. M. (2022). Geospatial modelling for selection of optimum sites for hybrid solar-wind energy in Assiut Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(2), 627–637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.005>.
21. Vestas Wind Systems A/S. 2011. V90-1.8/2.0 MW product brochure. Randers, Denmark: Vestas Wind Systems A/S. Retrieved August. 2025. URL: <https://www.ledsjovind.se/tolvmastegen/Vestas%20V90-2MW.pdf>.
22. Zehtabiyani-Rezaei, N. Iosifidis, A. & Abkar. M. (2022). Data-driven assessment of global wind energy resources. arXiv preprint arXiv:2203.13289. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.13289>.
23. Asadi, M. & Pourhossein, K., (2021). Neural network-based modelling of wind/solar farm siting: a case study of East-Azerbaijan. *International Journal of Sustainable Energy*, 40(7), pp. 616-637. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2020.1833881>.

The article was received by the editorial office on 09/10/2025, accepted for publication on 03/05/2026.

Імамвердієв Н. С.

 0000-0002-5573-0209

Інститут географії Міністерства науки і освіти, Баку, Азербайджан

## Оцінювання потенціалу вітрової енергетики в Азербайджані (на прикладі поселення Шорабаді, Хизинський район)

УДК 621.548:551.55:27.19(479.24)(045)

Це дослідження присвячене комплексному оцінюванню потенціалу вітрової енергетики Азербайджану на репрезентативному прикладі селища Шорабаді, що в Хизинському районі. Підкреслюється стратегічна важливість вітрової енергетики в контексті глобального енергетичного переходу та змін клімату, а також розглядаються природні й географічні переваги території дослідження разом із наявними інфраструктурними можливостями. Аналіз довгострокових наборів даних з NASA POWER (1981–2024 pp.), Global Wind Atlas і місцевих метеорологічних станцій виявив середню річну швидкість вітру на рівні 5,46 м/с. Вітровий режим території дослідження було додатково вивчено за допомогою статистичного моделювання із застосуванням розподілу Вейбулла. Просторову варіацію швидкості вітру, особливості сучасного землекористування та близькість до електромережі було оцінено за допомогою ГІС-аналізу. Моделювання вироблення енергії для турбіни Vestas V90-2.0 MW демонструє річний потенціал генерації на рівні 2,9–3,5 ГВт·год, що відповідає коефіцієнту використання встановленої потужності близько 0,2 за наявних вітрових умов. На основі консервативного сценарію розміщення (площа 25 км<sup>2</sup>, 54 турбіни із загальною потужністю 108 МВт) річне виробництво електроенергії було оцінено на рівні 156,6–189,0 ГВт·год/рік, що становить приблизно 0,55–0,67 % річного виробництва електроенергії Азербайджану. Отримані результати свідчать про те, що місцевість довкола поселення Шорабаді має сприятливі характеристики: рівнинний рельєф, розріджений рослинний покрив і близькість до наявної інфраструктури, що в сукупності робить цю територію придатною для розвитку проекту вітрової електростанції.

**Ключові слова:** вітрова енергетика; поселення Шорабаді; Хизинський район; ГІС-аналіз; розподіл Вейбулла; відновлювана енергія.

### Цитування:

Імамвердієв Н. С. (2026). Оцінювання потенціалу вітрової енергетики в Азербайджані (на прикладі поселення Шорабаді, Хизинський район). *Український географічний журнал*, 1, 28–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.028>



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.041>

Batur, M. O.

0000-0001-9284-8858,

Selbesoğlu, M. O.

0000-0002-1132-3978

Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

## Investigating Volcanic Plume Dispersion and Ash Deposition Effects on Snow Albedo in Antarctica

UDC 551.521.14:551.217.2:551.324.24(99)(045)

Volcanic eruptions are significant contributors to atmospheric aerosols, affecting global climate by altering radiative forcing. In remote regions such as Antarctica, volcanic ash plumes from eruptions in the Southern Hemisphere have the potential to impact snow albedo, altering the region's energy balance. This paper investigates the dispersion of volcanic ash from South American volcanoes over Antarctica using the HYSPLIT model and examines the effects of ash deposition on snow albedo using the SNICAR-Adv3 model. The study simulates various eruption scenarios and assesses how changes in snow's optical properties, such as albedo, are influenced by different levels of volcanic ash deposition. The findings demonstrate that ash deposition is most significant in the lower atmosphere (0–4000 m) due to gravitational settling and proximity to the surface, with air concentrations decreasing with altitude. It was found that snow albedo could potentially decrease by 1% due to volcanic ash deposition. The results suggest that while plume dispersion and ash deposition over Antarctica are plausible under specific atmospheric conditions, the extent of ash's impact on albedo varies significantly. This variability could accelerate snowmelt, influencing the Antarctic climate system and potentially altering the regional energy balance.

**Keywords:** *Antarctica; Antarctic Climate; Snow Albedo; Albedo Changes; Volcanic Ash Dispersion; Hypothetical Volcanic Eruption.*

### Introduction

Volcanic eruptions are known to play a significant role in shaping global ecosystems and climate systems. They can cause temporary shifts in climate, often leading to cooling effects that last from a few years to even decades, depending on the magnitude of the eruption. Large-scale volcanic events release vast amounts of aerosols, such as sulfur dioxide, into the stratosphere, which reduces incoming solar radiation and triggers global cooling [1–2]. While these aerosols contribute to global temperature reductions, especially over oceans and ice-covered regions like Antarctica, their effects can be complex and regionally varied. For instance, studies following the 1991 eruption of Mt. Pinatubo documented significant cooling of the Southern Ocean, yet simulta-

neous warming of up to 0.8°C was observed along the Antarctic Peninsula [3–5]. This demonstrates the complexity of volcanic impacts, particularly in sensitive polar environments where warming could heighten the vulnerability of ice sheets and glaciers. Antarctica, the most remote continent on Earth, plays a critical role in regulating global climate and sea levels. Volcanic ash deposition in the region, though often limited due to the natural barriers posed by the Antarctic Circumpolar Current, can nonetheless occur through long-range atmospheric transport [6]. Over the past two decades, satellite remote sensing data have revealed trends in snow cover across East and West Antarctica, showing dynamic changes in the region's cryosphere that could be further exacerbated by external factors

### For citation:

Batur, M. O., & Selbesoğlu, M. O. (2026). Investigating Volcanic Plume Dispersion and Ash Deposition Effects on Snow Albedo in Antarctica. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 41–54. [in English]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.041>

Copyright © 2026 Publishing House *Akademperyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

such as volcanic ash deposition [7]. These changes, combined with the transport mechanism known as global distillation, can carry pollutants and ash particles over great distances, contributing to their accumulation in polar regions [8]. Volcanic ash, a key component of these pollutants, has the potential to disturb the delicate radiative balance of the Antarctic ice sheet by altering surface albedo—the fraction of solar energy reflected by the snow and ice. Even small changes in albedo can have pronounced effects on the region's energy balance, accelerating snowmelt and influencing local climate patterns. Several studies have focused on the transport of volcanic ash over long distances and its environmental impact. [9] analyzed the long-range dispersion of ash from the Sangay volcano in Ecuador, while research following the 2010 Eyjafjallajökull eruption in Iceland revealed significant ash deposition across Europe [10–11]. Some previous studies have demonstrated the potential for volcanic eruptions in South America, particularly those in the Andean Volcanic Arc, to influence the Antarctic region through long-range atmospheric transport of ash and aerosols. Tephra and sulfate layers identified in Antarctic ice cores have been linked to major eruptions, such as those from Mount Hudson in 1991, Lascar, and Quizapu in 1932, confirming interhemispheric dispersion under favorable meteorological conditions, including prevailing westerlies and cyclonic systems [12–14]. These findings highlight the capacity of explosive volcanic events in southern South America to alter Antarctic atmospheric composition and contribute to surface deposition, as evidenced by geochemical signatures in ice cores [14–15]. Such impacts underscore the need for continued research into ash plume trajectories and their environmental consequences to better understand the climatic implications of volcanic activity on polar regions [16]. Some satellite-based studies have also confirmed ash transport over vast distances, such as during the 2015 Calbuco eruption, which affected the ozone layer above Antarctica [17–18]. There is still a limited understanding of the impact of volcanic ash on Antarctic albedo and subsequent climatic effects. This study seeks to address this gap by simulating volcanic plume dispersion and ash deposition in Antarctica and assessing the potential impacts on snow albedo. Specifically, we aim to investigate the plausibility of volcanic ash from South American eruptions reaching the Antarctic continent and to evaluate the extent to which such deposition could

reduce snow albedo, potentially accelerating snowmelt and influencing local climate systems. To achieve this, we conduct forward-trajectory analyses using meteorological data from past years and model different volcanic eruption scenarios to track ash dispersion and deposition patterns. Additionally, we assess how variations in ash concentration and deposition rates at different altitudinal levels influence surface albedo, contributing to broader discussions on the radiative and climatic implications of volcanic activity in polar regions. This work provides a novel perspective on the environmental impact of volcanic eruptions in Antarctica, offering insights into the mechanisms of ash transport and deposition and their effects on snow albedo. Given the continent's critical role in global climate regulation, understanding the potential for volcanic ash to disrupt the surface energy balance in Antarctica is essential for predicting future climate scenarios, especially as the region becomes increasingly vulnerable to external disturbances like volcanic eruptions.

## Area description and methodology

### *Volcanic activity in South America*

The Andean Volcanic Arc, formed by the subduction of the Nazca tectonic plate beneath the South American plate, spans the South American coast, cutting through Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, and Peru (**Figure 1**). This subduction process fuels volcanic activity, creating a complex volcanic belt that exhibits a diverse range of eruption styles and morphologies [19]. Simultaneously, the Pacific Ring of Fire, which encircles the Pacific Ocean, is a global manifestation of tectonic movements, marked by numerous volcanic arcs.

The Andean Volcanic Arc unfolds in four primary volcanic zones, separated by significant volcanic gaps [20]. The Northern Volcanic Zone stretches from Colombia to Ecuador, encompassing all continental volcanoes in this region. Ecuador alone hosts 55 volcanoes, which pose significant hazards to densely populated areas, including prominent volcanoes such as Galeras and Nevado del Ruiz. The Central Volcanic Zone extends from Peru to Chile, containing 44 major and 18 minor volcanic centers.

Further south, the Southern Volcanic Zone spans over 1,400 km, from central Chile to the Aysen Region, comprising at least 60 historically and potentially active volcanic edifices, along with numerous

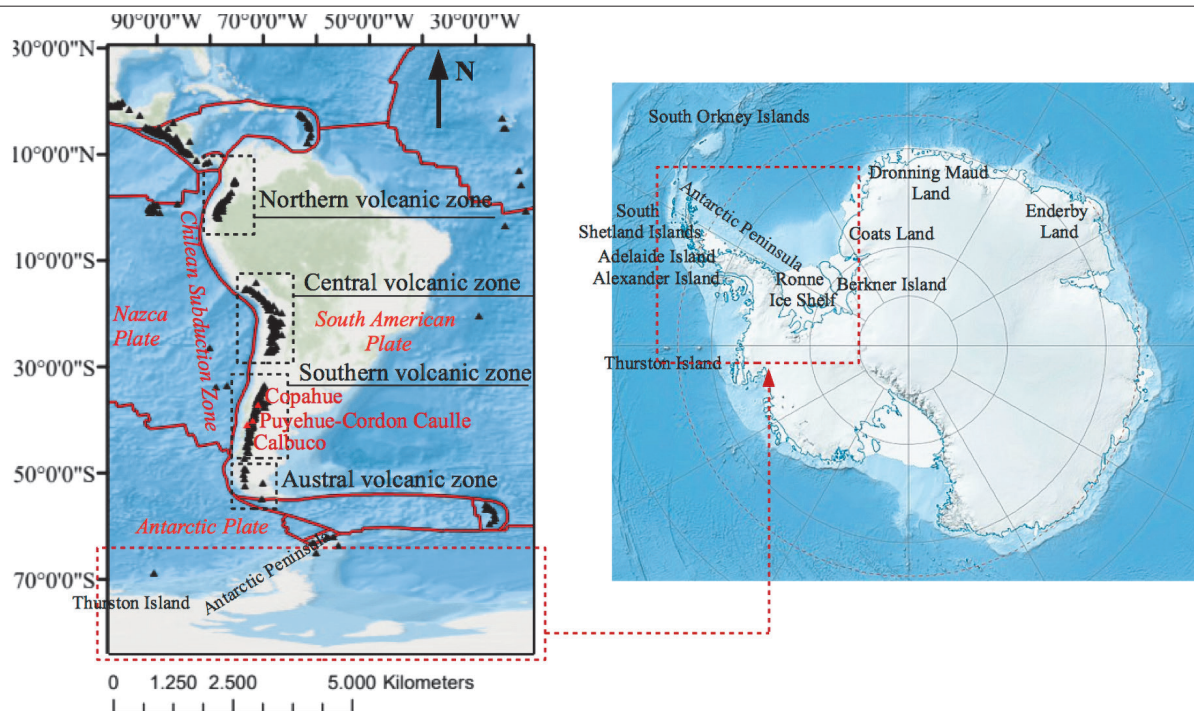


Fig. 1. Schematic map of South America and the Pacific oceanic plates along with the geographical location of volcanoes.

minor eruptive centers. This zone culminates at the Chile Triple Junction, triggering the Patagonian Volcanic Gap and transitioning into the Austral Volcanic Zone, which stretches over 965 km. The Patagonian Volcanic Gap, occurring between 46° S and 49° S, is so named because no seismic activity is detected beneath this area. The Austral Volcanic Zone consists of five stratovolcanoes and a small complex of Holocene domes.

According to the Global Volcanism Program [21], 44 volcanoes in Chile have erupted at least once since 1820, with 15 of these erupting within the last 20 years. The most historically active volcanoes in Chile are Copahue, Puyehue-Cordon Caulle, and Calbuco (Figure 1). These volcanoes are highly active and known for large, explosive eruptions that produce thick layers of lava, volcanic ash, and SO<sub>2</sub> emissions. Calbuco has an eruption frequency of approximately 19 years [22], while Copahue has erupted ten times since 1900, and Puyehue has recorded nine eruptions since 1900 [23].

Figure 1 also depicts a map of Antarctica, highlighting its key geographical features. The red dotted lines outline the western portion of Antarctica, particularly the Antarctic Peninsula and surrounding islands, which are the closest areas to South America. These regions are potentially vulnerable to volcanic pollution due to their proximity.

### Volcanic selection

According to the U. S. Geological Survey (USGS), volcanic eruptions are classified into 11 types based on magma composition and eruption characteristics:

- (1) mafic magmas with a standard eruption (M0);
- (2) mafic magmas with a small eruption (M1);
- (3) mafic magmas with a medium eruption (M2);
- (4) mafic magmas with a large eruption (M3);
- (5) silicic magmas with a standard eruption (S0);
- (6) silicic magmas with a small eruption (S1);
- (7) silicic magmas with a medium eruption (S2);
- (8) silicic magmas with a large eruption (S3);
- (9) co-ignimbrite cloud (S8);
- (10) brief silicic eruptions (S9); and
- (11) submarine eruptions (U0) [24].

To assess the potential arrival of volcanic plumes in Antarctica, several volcanoes were selected based on specific criteria:

- (1) proximity to Antarctica, specifically volcanoes located within 3,000–4,000 km of the Antarctic Peninsula;
- (2) eruptive history, including volcanoes with at least one explosion within the last 50 years; and
- (3) eruption type, ensuring a variety of magma types. Based on these criteria, three volcanoes in Chile were selected.

Table 1. Brief information on selected volcanoes

Volcano name	Calbuco	Copahue	Puyehue Cordon Caulle
Location	Lat 41.33° S Lon 72.61° W	Lat 37.85° S Lon 71.18° W	Lat 40.59° S Lon 72.11° W
Primary volcano type	Stratovolcano	Stratovolcano	Stratovolcano
Summit, m	1,974	2,953	2,236
Elevation, km	1.9738	2.9529	2.2360
Last emission	2015 Apr 22	2012 Dec 22	2011 Jun 04

Table 2. The values of HYSPLIT input data for the simulation of volcanic ash

HYSPLIT input parameters	Calbuco eruption	Copahue eruption	Puyehue Cordon Caulle eruption
Plume height, km	11	5	11
Eruption duration, hr	3	12	3
Mass eruption rate, kg/s	$4 \times 10^6$	$2 \times 10^5$	$4 \times 10^6$
Erupted volume, km <sup>3</sup>	0.015	0.003	0.015
Mass fraction of fine ash	0.4	0.1	0.4
Eruption type	S2	S1	S0

**Table 1** provides an overview of the key characteristics of these volcanoes, along with details of their most recent eruptions.

#### *HYSPLIT trajectory and ash dispersion model*

To estimate the trajectory of air particles reaching Antarctica and to simulate the volcanic eruption, both forward trajectory analysis and dispersion modeling were conducted using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model. Developed by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Air Resources Laboratory and the Australian Bureau of Meteorology Research Center, HYSPLIT has been widely used in atmospheric transport and dispersion studies. Its applications include sand and dust modeling [25], simulation of radioactive releases [26], ensemble forecasting of wildfires [27], and volcanic ash deposition modeling [28], among others.

HYSPLIT's name reflects its use of both Lagrangian and Eulerian approaches. In fluid mechanics, the Lagrangian method focuses on tracking individual particles and calculating their trajectories, while the Eulerian method deals with the overall concentration of particles, calculating their diffusion and convection. The combination of these two approaches allows for a more comprehensive analysis of particle-fluid interactions [29].

In this study, forward trajectories were initiated from the volcanic sites to determine the likelihood of volcanic ash reaching Antarctica. Additionally, an atmospheric dispersion model simulated the spatiotemporal behavior of the volcanic ash plumes. To establish when ash could reach Antarctica, multiple forward trajectories were calculated over time intervals ranging from 3 to 72 hours.

The HYSPLIT model was driven by meteorological data from the Global Data Assimilation System (GDAS), using hourly archived data at 1° by 1° resolution. For volcanic ash modeling, the input parameters were based on eruption source parameters provided by the USGS. The USGS assigns eruption characteristics, such as column height, eruption duration, mass eruption rate, eruption volume, and the percentage of fine ash, for each volcano [24]. **Table 2** provides the key input parameters used in the HYSPLIT simulations.

Volcanic ash concentrations were calculated for different atmospheric heights since meteorological conditions vary with altitude, affecting the ash's spatial distribution. Upon running the HYSPLIT model, we obtained forward trajectory data and ash plume concentration maps, which helped visualize the ash's movement and concentration over time.

#### *Albedo calculations*

We developed a MATLAB code to calculate the change in snow albedo due to volcanic ash deposition by iterating over various snow physical prop-

erties (snow depth, grain radius, and snow density), optical properties of volcanic ash (single-scattering albedo (SSA) and asymmetry factor), and ash deposition values across a range of wavelengths. This calculation is based on a simplified radiative transfer model adapted from the Snow, Ice, and Aerosol Radiative Model (SNICAR) framework, which is widely used for simulating the interaction of solar radiation with snow packs.

SNICAR calculates snow albedo based on a combination of snow's physical properties and the optical properties of impurities such as volcanic ash or black carbon [30]. It is particularly useful for assessing the impact of these contaminants on snow reflectivity and climate. SNICAR incorporates the detailed physics of light scattering and absorption within snow, considering both the intrinsic properties of snow grains and the external contaminants mixed into the snowpack [31].

The snow albedo, denoted as  $\alpha$ , is calculated using a radiative transfer equation based on the two-stream approximation (1) [32]:

$$\alpha = (1 - w_{\text{combined}}) e^{-(\tau_{\text{snow}} + \tau_{\text{ash}})} + w_{\text{combined}} (1 - g_{\text{combined}}) \left(1 - e^{-(\tau_{\text{snow}} + \tau_{\text{ash}})}\right) \mu \quad (1)$$

where  $\alpha$  is the snow albedo,  $w_{\text{combined}}$  is the combined SSA of snow and ash;  $\tau_{\text{snow}}$  and  $\tau_{\text{ash}}$  are the optical depths of snow and volcanic ash, respectively,  $g_{\text{combined}}$  is the combined asymmetry factor of snow and ash, and  $\mu$  is the cosine of the solar zenith angle.

The optical depth represents how much light is attenuated as it passes through a medium. For snow and volcanic ash, optical depth depends on physical properties such as snow depth, grain radius, and ash deposition. The optical depth for snow,  $\tau_{\text{snow}}$ , is given by (2):

$$\tau_{\text{snow}} = \frac{D \times \rho_{\text{snow}}}{r} \quad (2)$$

where  $D$  is the snow depth (m),  $r$  corresponds to the snow grain radius (m), and  $\rho_{\text{snow}}$  is the snow density ( $\text{kg/m}^3$ ).

The optical depth of volcanic ash,  $\tau_{\text{ash}}$ , depends on the ash deposition rate  $M_{\text{ash}}$  and the SSA  $w_{\text{ash}}$  of the ash particles. It is given by equation (3):

$$\tau_{\text{ash}} = M_{\text{ash}}(1 - w_{\text{ash}}). \quad (3)$$

Two key optical properties govern light scattering in the snow-ash mixture: the SSA  $w$  and the

asymmetry factor  $g$ . The SSA represents the fraction of light that is scattered rather than absorbed by a particle. For snow and ash, their combined SSA  $w_{\text{combined}}$  is calculated as the average of their respective values and is given by equation (4):

$$w_{\text{combined}} = \frac{w_{\text{snow}} + w_{\text{ash}}}{2} \quad (4)$$

where  $w_{\text{snow}}$  is typically 0.9, and  $w_{\text{ash}}$  varies between 0.6 and 0.9.

The asymmetry factor  $g_{\text{combined}}$ , which describes whether light is mostly scattered forward or backward, is calculated similarly by equation (5):

$$g_{\text{combined}} = \frac{g_{\text{snow}} + g_{\text{ash}}}{2} \quad (5)$$

where  $g_{\text{snow}}$  is 0.85, and  $g_{\text{ash}}$  varies between 0.7 and 0.9.

To evaluate the impact of varying parameters on snow albedo, the percentage change is computed using equation (6):

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_{\text{new}} - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (6)$$

where  $\alpha_{\text{new}}$  is the albedo calculated for a new set of parameters (e.g., higher ash deposition or larger grain size),  $\alpha_{\text{base}}$  is the base albedo under clean snow conditions.

### Sensitivity analysis

To quantify the impact of volcanic ash deposition on snow albedo, we conducted a comprehensive sensitivity analysis by examining a wide range of ash deposition rates and snow physical properties. Snow albedo is influenced by various factors, including grain size, snow depth, snow density, and optical properties such as SSA and the asymmetry factor. Our analysis sought to understand how varying ash deposition levels alter snow albedo compared to clean snow conditions.

The calculations were based on a radiative transfer model using the SNICAR framework. The analysis followed these steps:

**1. Base Case Scenario:** We first established a base scenario representing typical Antarctic conditions. The snow depth was set to 1 meter, the grain size was fixed at 100  $\mu\text{m}$ , and the snow density was assumed to be 200  $\text{kg/m}^3$ . For the volcanic ash, we used an SSA of 0.75 and an asymmetry factor of 0.8. Using these values, the base albedo was calculated for clean snow using a radiative transfer

function, which incorporates both the single scattering albedo and asymmetry factor of snow and ash particles.

**2. Ash Deposition Sensitivity:** Ash deposition levels were varied logarithmically from 0.1 mg/m<sup>2</sup> to 10,000 mg/m<sup>2</sup> to capture different scenarios of volcanic activity. For each ash deposition level, we recalculated the snow albedo using the radiative transfer model, allowing us to estimate the reduction in albedo as the ash concentration increased.

**3. Snow Properties Sensitivity:** We then performed a sensitivity analysis for snow depth (0.5 m to 2 m), grain size (50 μm to 200 μm), and snow density (100 kg/m<sup>3</sup> to 500 kg/m<sup>3</sup>). By systematically varying these parameters, we recalculated the albedo for each combination and compared it to the base case. This allowed us to quantify the sensitivity of snow albedo to these physical properties.

**4. Optical Properties Sensitivity:** Finally, we analyzed how changes in the optical properties of volcanic ash influence snow albedo. The SSA of the ash was varied from 0.6 to 0.9, and the asymmetry factor was adjusted from 0.7 to 0.9. For each combination of SSA and asymmetry factor, we recalculated the albedo and computed the percentage change compared to the base albedo.

Sensitivity analysis for snow properties are calculated using equations (7)–(9):

Snow depth sensitivity (7):

$$\Delta\alpha_{\text{depth}} = \frac{\alpha(D, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}}) - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (7)$$

where  $\alpha(D, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}})$  is the snow albedo calculated with the modified snow depth  $D$ , while keeping the other parameters constant (grain radius  $r_{\text{base}}$ , snow density  $\rho_{\text{base}}$ , ash deposition  $M_{\text{ash}}$ , ash SSA  $w_{\text{ash}}$ , and ash asymmetry factor  $g_{\text{ash}}$ ).

Grain radius sensitivity (8):

$$\Delta\alpha_{\text{grain}} = \frac{\alpha(D_{\text{base}}, r, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}}) - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (8)$$

where  $\alpha(D_{\text{base}}, r, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}})$  is the snow albedo calculated with a modified snow grain radius  $r$ , while keeping the other parameters constant.

Snow density sensitivity (9):

$$\Delta\alpha_{\text{density}} = \frac{\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{snow}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}}) - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (9)$$

where  $\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{snow}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}})$  is the snow albedo calculated with a modified snow density  $\rho_{\text{snow}}$ , while keeping the other parameters constant.

Sensitivity analysis for optical properties are calculated using equations (10)–(11):

SSA sensitivity (10):

$$\Delta\alpha_{\text{SSA}} = \frac{\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}}) - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (10)$$

where  $\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{ash}}, g_{\text{ash}})$  is the snow albedo calculated with a modified SSA of volcanic ash  $w_{\text{ash}}$ , while keeping the other parameters constant.

Asymmetry factor sensitivity (11):

$$\Delta\alpha_g = \frac{\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{base}}, g_{\text{ash}}) - \alpha_{\text{base}}}{\alpha_{\text{base}}} \times 100\% \quad (11)$$

where  $\alpha(D_{\text{base}}, r_{\text{base}}, \rho_{\text{base}}, M_{\text{ash}}, w_{\text{base}}, g_{\text{ash}})$  is the snow albedo calculated with a modified asymmetry factor  $g_{\text{ash}}$ , while keeping the other parameters constant.

## Results

### Pathway transport of volcanic ashes

**Table 3** summarizes the forward trajectory simulations generated using the HYSPLIT model for each month of a hypothetical volcanic eruption. The table presents the dominant transport directions, dispersion characteristics, and trajectory behavior, allowing identification of periods when volcanic ash is more likely to reach Antarctic regions.

The results demonstrate a clear seasonal influence on ash dispersion patterns. According to the summarized trajectory characteristics, months such as February, June, July, August, and September are associated with transport directions and dispersion patterns that favor southward movement toward Antarctic regions. These months are characterized by wider dispersion, increased trajectory curvature, and more variable atmospheric conditions, indicating a higher probability of ash reaching Antarctica.

**Table 3. Summary of forward trajectory patterns derived from HYSPLIT simulations for each month, including dominant transport direction, dispersion characteristics, and trajectory behavior**

Month	Dominant direction	Dispersion pattern	Relative spread	Trajectory behavior	General interpretation
December	NE-E	Moderately curved	Medium	Consistent flow	Stable atmospheric transport
January	E-SE	Slightly diverging	Medium	Smooth trajectories	Moderate variability
February	SE	Strong divergence	Wide	Curved	Increased dispersion influence
March	E-NE	Mixed	Medium	Semi-stable	Transitional pattern
April	E	Parallel	Narrow-medium	Linear	More stable flow regime
May	SE-S	Divergent	Wide	Strong curvature	Enhanced atmospheric
June	Variable E-W	Highly dispersed	Very wide	Irregular	Unstable atmospheric conditions
July	SE	Moderately focused	Medium	Slight curvature	Controlled dispersion
August	E-SE	Diverging	Medium-wide	smooth	Seasonal transition
September	NE-E	moderate	medium	Semi-linear	Stabilizing flow
October	E	Narrow	Low	Linear	Strong directional control
November	NE-N	Mixed	Medium	Curved	Variable atmospheric influence

**Table 4. Summary of modeled volcanic ash dispersion at different altitude ranges for selected volcanoes, including concentration levels, spatial distribution, and dispersion characteristics**

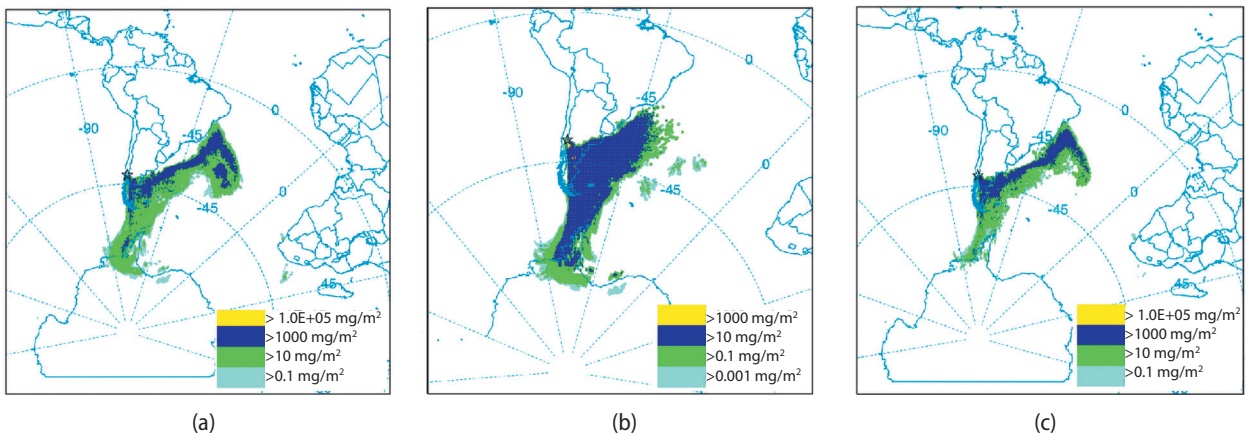
Volcano	Altitude range (m)	Relative concentration	Dispersion direction	Spatial extent	Pattern type
Calbuco	0–4,000	High near source	E-SE	Local-regional	Concentrated
Calbuco	4,000–6,000	Medium	E	Regional	Expanding
Calbuco	6,000–8,000	Lower	E-NE	Wide	Diffuse
Copahue	0–4,000	High	SE	Local	Concentrated
Copahue	4,000–6,000	Medium	SE-E	Regional	Expanding
Copahue	6,000–8,000	Low	E-NE	Wide	Diffuse
Puyehue-Cordon Caulle	0–4,000	Very high	E-SE	Regional	Dense plume
Puyehue-Cordon Caulle	4,000–6,000	Medium	E	Wide	Expanding
Puyehue-Cordon Caulle	6,000–8,000	Low-very low	E-NE	Very wide	Diffuse

In contrast, months such as March, April, May, and November exhibit more stable or predominantly eastward and westward transport patterns, limiting southward dispersion. These periods are characterized by narrower or more linear trajectories, suggesting a lower likelihood of ash transport toward Antarctic regions. Overall, the variability in dominant directions, spread, and trajectory behavior

highlights the strong influence of seasonal atmospheric circulation on ash dispersion.

#### *Ash dispersion from simulated volcanic events*

**Table 4** summarizes the modeled volcanic ash dispersion 72 hours after hypothetical eruptions of three volcanoes: Calbuco, Copahue, and Puyehue-Cordón Caulle. The table presents disper-



**Fig. 2.** Simulation results of volcanic ash deposition 72 hours after the hypothetical eruption: (a) Calbuco volcano; (b) Copahue volcano; (c) Puyehue-Cordón Caulle volcano.

sion characteristics across three altitude ranges (0–4,000 m, 4,000–6,000 m, and 6,000–8,000 m), including relative concentration levels, transport directions, and spatial extent of ash clouds.

The results indicate that ash concentrations are generally highest near the volcanic source and decrease with distance, reflecting progressive dispersion of the ash cloud. Across all volcanoes, lower altitude ranges (0–4,000 m) are characterized by more concentrated and spatially limited ash distributions, while higher altitudes show broader dispersion patterns and wider spatial coverage. This demonstrates the influence of atmospheric transport processes, where ash particles become increasingly dispersed at higher elevations. Comparative analysis of the three volcanoes shows that eruptions of Calbuco and Puyehue-Cordón Caulle produce similar levels of ash dispersion toward Antarctic regions, with concentrations ranging approximately from  $0.0001 \text{ mg/m}^3$  to  $0.01 \text{ mg/m}^3$ . In contrast, Copahue exhibits slightly lower concentrations, reaching values from approximately  $0.000001 \text{ mg/m}^3$  to  $0.01 \text{ mg/m}^3$ , indicating a relatively weaker impact under the modeled conditions. The vertical distribution patterns further reveal that ash concentrations remain relatively consistent between the 4,000 m and 6,000 m altitude ranges, suggesting stable transport within these atmospheric layers. At higher altitudes (6,000–8,000 m), a slight decrease in concentration is observed, indicating enhanced dispersion and possible settling of ash particles.

#### *Ash deposition patterns from simulated volcanic events*

**Figure 2** presents ground ash deposition maps for three different volcanoes, illustrating how pollutants

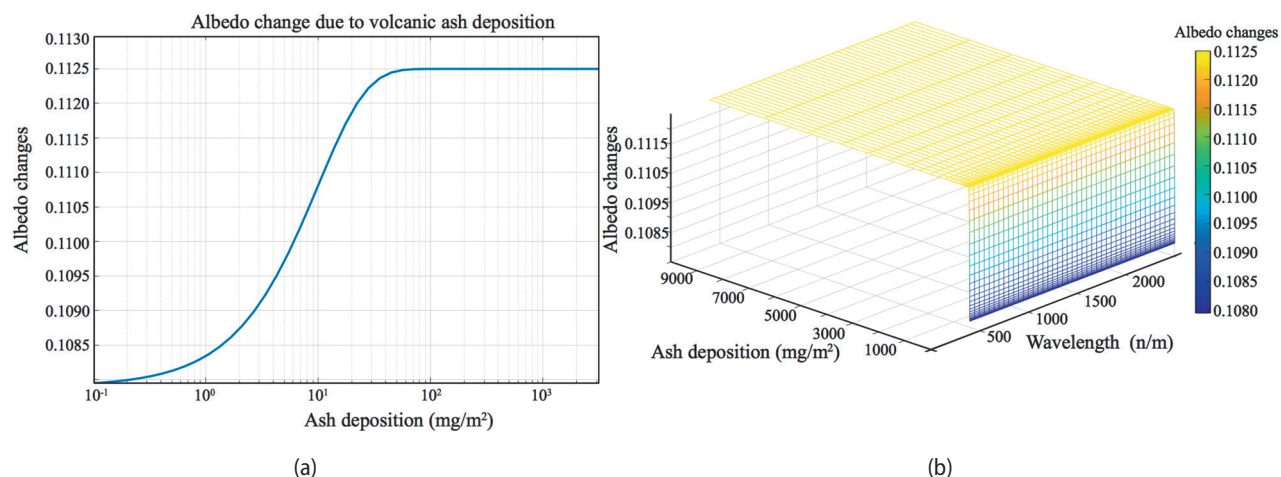
from volcanic eruptions settle onto the Earth's surface. These maps provide a visual representation of the spatial distribution of volcanic ash deposition, with varying intensities indicated by color gradients.

When interpreting these maps, it's essential to start by examining the map legend, which details the pollution levels. In the Antarctic regions, the highest detected level of ash deposition exceeds  $10 \text{ mg/m}^2$ , indicating significant environmental impact in these areas.

Looking at **Figure 2a**, which depicts ash deposition from the Calbuco volcano, we observe that the ash has spread over a vast area. High concentrations of ash (shown by blue color) are particularly prominent off the southern coast of South America and extend into the South Atlantic Ocean. This suggests that the hypothetical eruption could be influenced by wind patterns that carried the ash far from the volcano.

In **Figure 2b**, the ash deposition from the Copahue volcano is also widespread, but overall, the intensity of the ash deposition is lower compared to Calbuco. Although the highest concentrations (highlighted in yellow) are present, they are more concentrated near the eruption site, indicating that the ash did not spread as extensively as in the first map. This could be due to a combination of factors, including the strength of the eruption and local meteorological conditions at the time.

Finally, **Figure 2c** displays the ash deposition from the Puyehue-Cordon Caulle volcano, which exhibits a spatial distribution similar to the Calbuco eruption. Large areas are covered with high concentrations of ash, again particularly along the southern coast of South America and into the South Atlantic. While the overall pattern resembles that of Calbuco,



**Fig. 3.** Effects of volcanic ash deposition on snow surface albedo under different conditions  
(a) Changes of albedo as a function of ash deposition; (b) Albedo changes across wavelengths and ash deposition.

there may be subtle differences in the intensity and extent of the ash spread, possibly due to differences in eruption dynamics or atmospheric conditions at the time.

### *Albedo changes*

**Figure 3** illustrates the impact of volcanic ash deposition on snow surface albedo under varying conditions.

**Figure 3a** presents the relationship between albedo and ash deposition. The X-axis represents ash deposition (in  $\text{mg}/\text{m}^2$ ) on a logarithmic scale, ranging from very low ( $0.1 \text{ mg}/\text{m}^2$ ) to very high levels ( $10,000 \text{ mg}/\text{m}^2$ ). The Y-axis shows the albedo, or the snow's reflectivity, where higher values indicate more reflective surfaces and lower values represent increased absorption of solar radiation. At minimal ash deposition levels (around  $0.1 \text{ mg}/\text{m}^2$ ), snow retains a relatively high albedo, reflecting most incoming solar radiation. As ash deposition increases, the albedo decreases because the dark volcanic ash particles accumulate on the snow surface, absorbing more sunlight and reducing reflectivity.

**Figure 3b** shows how albedo varies across different wavelengths and ash deposition levels. The X-axis represents light wavelengths (ranging from 400 nm to 2,500 nm), which covers the visible and near-infrared portions of the spectrum. The Y-axis shows the ash deposition, and the Z-axis represents albedo, which changes based on the wavelength and the amount of ash. As ash deposition increases, albedo decreases across all wavelengths, with the effect being particularly strong in the visible light range, where clean snow is highly reflective. The reduction in albedo is more pronounced at lower ash deposi-

tion levels. However, beyond a certain deposition threshold, further increases in ash have a diminishing impact on reflectivity, indicating a saturation effect. This suggests that once the snow surface is sufficiently covered by ash, additional ash deposition has a smaller incremental effect on reducing albedo. This non-linear relationship highlights that small amounts of ash can significantly lower albedo initially, but the effect plateaus as deposition increases.

The Pearson correlation coefficient between ash deposition values and snow albedo was calculated to be 0.3882, with a  $p$ -value of 0.005341. This result is statistically significant at the  $p < 0.05$  level. The coefficient of 0.3882 suggests a moderate positive correlation, indicating that as ash deposition increases, there is a tendency for snow albedo to decrease. The statistically significant  $p$ -value implies that this relationship is unlikely to be due to random chance, confirming that volcanic ash deposition has a measurable impact on snow albedo.

### *Albedo sensitivity results*

To evaluate how various physical parameters influence snow albedo, a sensitivity analysis was conducted on four key variables: snow depth, snow grain radius, snow density, and snow optical properties. **Figure 4** illustrates the results of sensitivity analysis.

**Figure 4a** illustrates the sensitivity of albedo to snow depth. Results indicate that shallow snow ( $\leq 0.5 \text{ m}$ ) increases albedo by more than 1%, likely due to enhanced reflectivity from the underlying snowpack. However, as snow depth increases beyond 1 m, the change becomes negative, suggesting a diminishing albedo effect, possibly due to light absorption in deeper layers.

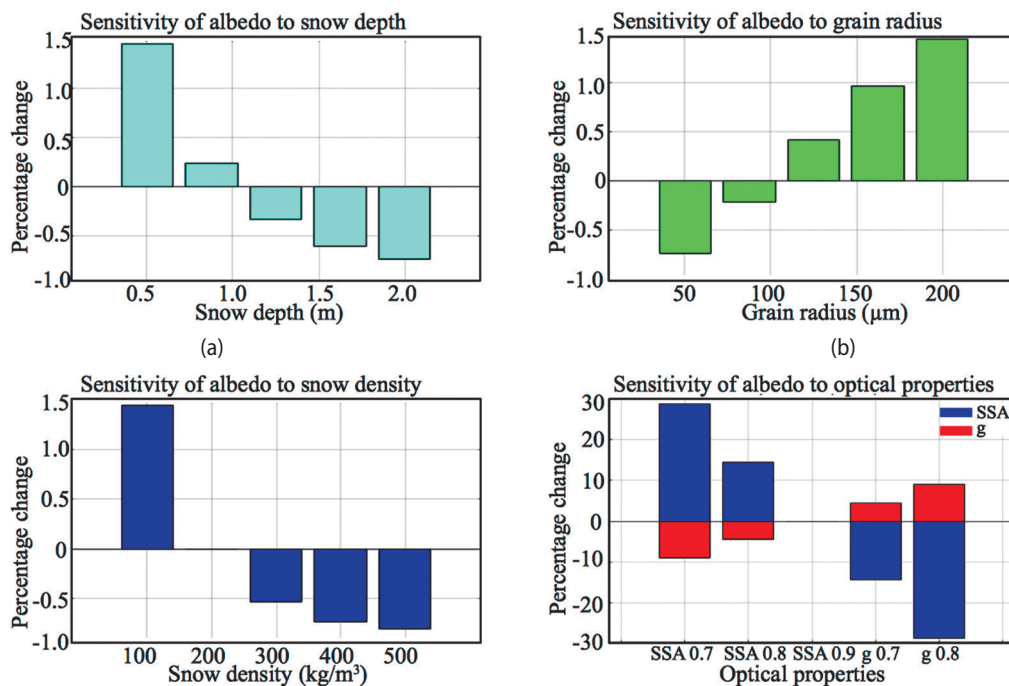


Fig. 4. Albedo sensitivity analysis: (a) sensitivity of albedo to snow depth; (b) sensitivity of albedo to grain radius; (c) sensitivity of albedo to snow density; (d) sensitivity of albedo to optical properties.

**Figure 4b** presents the response of albedo to varying snow grain radius. An increase in grain size from 50  $\mu\text{m}$  to 200  $\mu\text{m}$  leads to a progressive and significant reduction in albedo, with the smallest grains causing a decrease of over 1%. Larger grain sizes absorb more radiation, reducing surface reflectivity, making this a critical factor for albedo modeling.

**Figure 4c** shows the sensitivity of albedo to snow density. At lower densities ( $\sim 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ), albedo increases by over 1.5%. Conversely, increasing the density beyond 300  $\text{kg}/\text{m}^3$  results in a notable decrease in albedo. This outcome reflects the transition from fresh, fluffy snow to compacted snow, which has a reduced scattering ability due to lower air content.

Finally, **Figure 4d** explores the influence of optical properties, specifically the snow specific surface area (SSA) and single-scattering albedo ( $g$ ). A decrease in SSA or an increase in the asymmetry parameter ( $g$ ) causes substantial reductions in albedo that is up to nearly 30% in some combinations.

## Discussion

### *Relationship between ash deposition and air concentration at different altitudinal levels*

The analysis of volcanic ash dispersion revealed a distinct relationship between ash deposition rates

and air concentration at varying altitudinal bands (between 0 m and 4000 m, between 4000 m and 6000 m, and between 6000 m and 8000 m). In the lower atmosphere (0–4000 m), ash concentration was relatively higher compared to upper levels due to gravitational settling and proximity to the surface. This increased deposition is directly linked to the denser ash plume, which is more affected by gravity and air drag, resulting in a larger amount of ash reaching the ground in this range. Between 4000–6000 m, a transition phase was observed where air concentration of ash decreased slightly, but still contributed significantly to the deposition. The mid-level atmosphere is characterized by lower vertical mixing and weaker updrafts, leading to a modest accumulation of ash particles. Finally, at the 6000–8000 m level, air concentration of volcanic ash dropped substantially due to reduced particulate matter density and the longer timescales required for ash particles to settle from such heights. Nevertheless, particles from this altitude still contributed to the overall deposition, albeit at much lower rates. This indicates that the primary ash deposition in Antarctica is influenced by air concentration at lower levels (0–4000 m), whereas ash from higher altitudes tends to disperse more broadly, contributing to distant deposition through long-range transport.

### *Impact of volcanic ash on snow albedo*

This study revealed that volcanic ash deposition caused a measurable reduction in snow albedo, with a 1% decrease in reflectivity observed across affected regions. Volcanic ash, consisting of dark-colored particulate matter such as silicates and oxides, settles on the snow surface and absorbs more incoming solar radiation compared to pristine snow, which typically exhibits a high albedo of up to 90% in the visible spectrum [33–34]. Although a 1% reduction in albedo appears minor, it has significant localized and broader climatic implications due to the high sensitivity of snow-covered surfaces to changes in reflectivity. The darkening of snow by ash increases the absorption of solar radiation, with even small albedo reductions leading to substantial increases in surface energy uptake. For instance, under typical Antarctic summer conditions with incoming solar radiation of approximately  $300 \text{ W/m}^2$ , a 1% albedo reduction translates to an additional  $3 \text{ W/m}^2$  of absorbed energy, sufficient to initiate or accelerate snowmelt [35–36]. This enhanced absorption raises surface temperatures, promoting grain coarsening in the snowpack, which further reduces albedo and amplifies melting [37].

In regions with concentrated ash deposition, such as near the Antarctic Peninsula, the snow surface absorbs significantly more solar radiation, leading to accelerated melting and modifications to the surface energy balance. The persistence of volcanic ash on the snow surface, influenced by factors such as wind redistribution, precipitation, and subsequent snowfall events, can prolong these effects, contributing to sustained albedo reduction over weeks to months [38]. As ash particles mix into the snowpack through meltwater percolation or wind-driven burial, they become more effective at absorbing solar radiation, as subsurface ash continues to darken the snow even after new snow accumulation [39]. This mixing process can lead to a cumulative albedo reduction, exacerbating the climatic impact over time. Studies of analogous impurities, such as black carbon, indicate that even low concentrations of light-absorbing particles (on the order of  $\text{ng/g}$ ) can reduce snow albedo by 1–2%, with measurable effects on regional snowmelt rates [40]. The findings of this study align with these observations, underscoring that a 1% albedo reduction from volcanic ash is not trivial and can drive significant environmental changes in Antarctica's sensitive cryospheric system.

### *Radiative and climatic implications*

The radiative impact of ash deposition, as observed in this study, influences regional climate patterns, particularly in sensitive polar environments like Antarctica. Increased absorption of solar radiation may alter local temperature profiles, potentially affecting ice dynamics, ocean-atmosphere interactions, and contributing to the long-term acceleration of ice sheet melting. These effects are consistent with research highlighting the sensitivity of Antarctic ice sheets to surface albedo changes, which can exacerbate mass loss and contribute to global sea-level rise [41–42]. Given the critical role of Antarctica in global sea-level regulation, our results align with studies emphasizing that even minor changes in snow and ice albedo from impurities like volcanic ash can have cascading effects on global climate systems [43–44].

Furthermore, volcanic ash in the atmosphere affects radiative forcing by both scattering and absorbing solar radiation, which can lead to short-term cooling effects globally, depending on the scale of the eruption [45]. However, the localized deposition of ash on snow in polar regions, as this study demonstrates, tends to result in warming effects due to albedo reduction, a finding supported by research on volcanic aerosol impacts in polar environments [46]. This duality underscores the complex and regionally variable nature of volcanic eruptions' net climate impact, as noted in studies of past eruptions like Pinatubo and Calbuco [18]. Our research thus confirms and extends prior work, highlighting that a 1% albedo reduction from volcanic ash deposition is a significant driver of climatic change in Antarctica, with implications for regional and global climate dynamics.

### **Conclusion**

This study investigated the effects of volcanic plume dispersion and ash deposition on snow albedo in Antarctica, highlighting key relationships between ash concentration at different altitudinal levels and the resulting impacts on surface reflectivity. The findings demonstrate that ash deposition is most significant in the lower atmosphere (0–4000 m) due to gravitational settling and proximity to the surface, with air concentrations decreasing with altitude. The deposition of volcanic ash resulted in a 1% reduction in snow albedo, a seemingly minor change with potentially substantial radiative and climatic consequences. This reduction leads to increased

absorption of solar radiation, accelerating snowmelt and contributing to positive feedback loops that may exacerbate local and regional warming. These processes have the potential to influence the stability of the Antarctic ice sheet and, consequently, global sea levels.

While this study offers valuable insights into the relationship between volcanic ash deposition and snow albedo, several avenues for future research can expand our understanding of the broader climatic and environmental implications:

1. Future studies should incorporate long-term observational data to monitor the persistence and evolution of ash on snow surfaces, accounting for factors such as wind redistribution, snowfall events, and ash mixing into the snowpack. Incorporating this data into high-resolution climate models would improve predictions of the long-term impacts of ash deposition on snowmelt and ice dynamics in Antarctica.

2. Future research could explore how variations in Antarctic climatic conditions (such as wind patterns, precipitation rates, and temperature fluctuations) influence the deposition and persistence of volcanic ash on snow and ice surfaces. These conditions may alter the extent to which ash particles affect snow albedo and the rate of snowmelt.

3. Impact on Antarctic Ice Dynamics: The interaction between volcanic ash deposition and Antarctic ice dynamics remains an open area of research. Studies should investigate how changes in snow albedo and increased meltwater generation impact the flow and stability of glaciers and ice sheets. Understanding these processes is critical for predicting future contributions to global sea-level rise.

4. Global Climatic Impacts: Expanding the scope of research to assess the interplay between local albedo changes in polar regions and global climate dynamics would provide a more comprehensive understanding of how volcanic ash deposition in Antarctica contributes to worldwide climatic shifts. Investigating whether these regional effects propagate to influence broader atmospheric and oceanic circulation patterns is essential for developing holistic climate models.

In summary, this study underscores the importance of volcanic ash deposition as a factor in the albedo and climate dynamics of Antarctica. Given the region's crucial role in regulating global sea levels, further research into these processes is necessary to fully understand the long-term implications of volcanic eruptions on polar environments and the global climate system.

### References [Література]

1. Liu, B., Zhao, C., Zhu, L. & Liu, J. (2021). Seasonal changes in arctic cooling after single mega volcanic eruption. *Frontiers in Earth Science* 9: 688250. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.688250>.
2. Fang, S. W., Sigl, M., Toohey, M., Jungclaus, J., Zanchettin, D. & Timmreck, C. (2023). The role of small to moderate volcanic eruptions in the early 19th century climate. *Geophysical Research Letters*, 50(22): e2023GL105307. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023GL105307>.
3. Ramaswamy, V., Chanin, M. L., Angell, J., et al. (2001). Stratospheric temperature trends: Observations and model simulations. *Reviews of Geophysics*, 39(1), 71–122. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999RG000065>.
4. Gagné, M. E., Kirchmeier-Young, M. C., Gillett, N. P., Fyfe, J. C. (2017). Arctic sea ice response to the eruptions of Agung, El Chichón, and Pinatubo. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(15), 8071–8078. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017JD027038>.
5. Verona, L. S., Wainer, I., Stevenson, S. (2019). Volcanically triggered ocean warming near the Antarctic Peninsula. *Scientific Reports*, 9(1), 9462. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45190-3>.
6. Yadav, R., Sahu, L. K., Beig, G. & Jaaffrey, S. N. A. (2016). Role of long-range transport and local meteorology in seasonal variation of surface ozone and its precursors at an urban site in India. *Atmospheric Research*, 176, 96–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.018>.
7. Malinka, A., Ilkevich, Y., Prikhach, A., et al. (2023). Characteristics of the Snow Cover in East and West Antarctica and Their 20-Year Trends Retrieved from Satellite Remote Sensing Data. *Environmental Sciences Proceedings*, 29(1), 43. DOI: <https://doi.org/10.3390/ECRS2023-15862>.
8. Touzeau, A., Landais, A., Stenni, B., et al. (2016). Acquisition of isotopic composition for surface snow in East Antarctica and the links to climatic parameters. *The Cryosphere*, 10(2), 837–852. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-10-837-2016>.
9. Moran-Zuloaga, D., Merchan-Merchan, W., Rodriguez-Caballero, E., Mulas, M. & Hernick, P. (2024). Long-range transport and microscopy analysis of Sangay volcanic ashes in Ecuador. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17(1), 155–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01434-w>.
10. Ansmann, A., Tesche, M., Groß, S., Freudenthaler, V., Seifert, P., Hiesch, A., & Wiegner M. (2010). The 16 April 2010 major volcanic ash plume over central Europe: EARLINET lidar and AERONET photometer observations at Leipzig and Munich, Germany. *Geophysical Research Letters*, 37(13). DOI: <https://doi.org/10.1029/2010GL043809>.

11. Schäfer, K., Thomas, W., Peters, A., et al. (2011). Influences of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic plume on air quality in the northern Alpine region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(16), 8555–8575. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-11-8555-2011>.
12. Cole-Dai, J., Mosley-Thompson, E., Thompson, L. G. (1997). Annually resolved southern hemisphere volcanic history from two Antarctic ice cores. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16761–16771. DOI: <https://doi.org/10.1029/97jD01394>.
13. Hildreth, W., Drake, R. E. (1992). Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology*, 54: 93–125. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00278002>.
14. Narcisi, B., Petit, J. R., Delmonte, B., Batanova, V. & Savarino, J. (2019). Multiple sources for tephra from AD 1259 volcanic signal in Antarctic ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 210, 164–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.03.005>.
15. Castellano, E., Becagli, S., Hansson, M., et al. (2005). Holocene volcanic history as recorded in the sulfate stratigraphy of the European Project for Ice Coring in Antarctica Dome C (EDC96) ice core. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110, D06114. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004jD005259>.
16. Kratzmann, D. J., Carey, S., Scasso, R. & Naranjo, J. A. (2009). Compositional variations and magma mixing in the 1991 eruptions of Hudson volcano, Chile. *Bulletin of Volcanology*, 71, 419–439. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00445-008-0234-x>.
17. Solomon, S., Ivy, D. J., Kinnison, D., Mills, M. J., Neely, R. R. & Schmidt, A. (2016). Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*, 353, 269–274. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aae0061>.
18. Stone, K. A., Solomon, S., Kinnison, D. E., et al. (2015). Observing the Impact of Calbuco Volcanic Aerosols on South Polar Ozone Depletion in 2015. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 122: 11862–811879. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017JD026987>.
19. Ramos, V. A. (2021). Fifty years of plate tectonics in the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 105, 102997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102997>.
20. Cembrano, J., Lara, L. (2009). The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*, 471(1–2), 96–113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.038>.
21. *Global Volcanism Program* (2013). In: Venzke, E. (Ed.), *Volcanoes of the World*, v. 4.10.5 (27 Jan 2022). Smithsonian Institution. DOI: <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>. Downloaded 28 Jan 2022.
22. Romero, J. E., Morgavi, D., Arzilli, F., et al. (2016). Eruption dynamics of the 22–23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 317, 15–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.02.027>.
23. Cabrera, L., Ardid, A., Melchor, I., et al. (2024). Eruption forecasting model for Copahue volcano (southern Andes) using seismic data and machine learning: A joint interpretation with geodetic data (GNSS and InSAR). *Seismol. Res. Lett.*, 95(5), 2595–2610. DOI: <https://doi.org/10.1785/0220240022>.
24. Mastin, L. G., Guffanti, M., Ewert, J. E. & Spiegel, J. (2009). Preliminary spreadsheet of eruption source parameters for volcanoes of the world. US Geological Survey open-file report 1133: 25. URL: <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1133/>
25. Qor-el-aïne, A., Béres, A., Géczi, G. (2022). Dust storm simulation over the Sahara Desert (Moroccan and Mauritanian regions) using HYSPLIT. *Atmospheric Science Letters*, 23(4), e1076. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.1076>.
26. Bektaş, S., Lüle, S. Ş. (2022). An integrated method for atmospheric dispersion and corresponding risks: Application to ITU TRIGA Mark II research reactor. *Progress in Nuclear Energy*, 143, 104039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.104039>.
27. Li, Y., Tong, D. Q., Ngan, F., et al. (2020). Ensemble PM<sub>2.5</sub> forecasting during the 2018 camp fire event using the HYSPLIT transport and dispersion model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(15), e2020JD032768. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020JD032768>.
28. Paez, P. A., Cogliati, M. G., Caselli, A. T. & Monasterio A. M. (2021). An analysis of volcanic SO<sub>2</sub> and ash emissions from Copahue volcano. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103365>.
29. Draxler, R. R., Rolph, G. D. (2010). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) NOAA Air Resources Laboratory. *Silver Spring MD*, 25(1).
30. Beres, N. D., Lapuerta, M., Cereceda-Balic, F. & Moosmüller, H. (2020). Snow surface albedo sensitivity to black carbon: Radiative transfer modelling. *Atmosphere*, 11(10), 1077. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11101077>.
31. Whicker, C. A., Flanner, M. G., Dang, C., Zender, C. S., Cook, J. M. & Gardner, A. S. (2022). SNICAR-ADv4: a physically based radiative transfer model to represent the spectral albedo of glacier ice. *The Cryosphere*, 16(4), 1197–1220. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-16-1197-2022>.
32. Temgoua, F. M., Nguimdo, L. A., & Njomo, D. (2024). Two-Stream Approximation to the Radiative Transfer Equation: A New Improvement and Comparative Accuracy with Existing Methods. *Advances in Atmospheric Sciences*, 41(2), 278–292. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-16-1197-2022>.
33. Warren, S. G. (1982). Optical properties of snow. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(1), 67–89. DOI: <https://doi.org/10.1029/RG020i001p00067>.
34. Gardner, A. S., Sharp, M. J. (2010). A review of snow and ice albedo and the development of a new physically based broadband albedo parameterization. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(F1). DOI: <https://doi.org/10.1029/2009JF001444>.
35. Hansen, J., & Nazarenko, L. (2004). Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(2), 423–428. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2237157100>.

36. Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T. & Rasch, P. J. (2007). Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D11). DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD008003>.
37. Qu, X., Hall, A. (2007). What controls the strength of snow-albedo feedback? *Journal of Climate*, 20(15), 3971–3981. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI4186.1>.
38. Doherty, S. J., Warren, S. G., Grenfell, T. C., Clarke, A. D. & Brandt, R. E. (2013). Light-absorbing impurities in Arctic snow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(23), 11543–11560. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-13-11543-2013>.
39. Conway, H., Gades, A., & Raymond, C. F. (1996). Albedo of dirty snow during conditions of melt. *Water Resources Research*, 32(6), 1713–1718. DOI: <https://doi.org/10.1029/96WR00712>.
40. Skiles, S. M., Flanner, M., Cook, J. M., Dumont, M. & Painter, T. H. (2018). Radiative forcing by light-absorbing particles in snow. *Nature Climate Change*, 8(11), 964–971. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0296-5>.
41. Tedesco, M., Doherty, S., Fettweis, X., Alexander, P., Jeyaratnam, J. & Stroeve, J. (2016). The darkening of the Greenland ice sheet: Trends, drivers, and projections (1981–2100). *The Cryosphere*, 10(2): 477–496. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-10-477-2016>.
42. Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., van den Broeke, M., van Wessem, M. J., & Morlighem, M. (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(4), 1095–1103. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1812883116>.
43. Serreze, M. C., Barry, R. G. (2011). Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change*, 77(1–2), 85–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.004>.
44. Bond, T. C., Doherty, S. J., & Fahey, D. W. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380–5552. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>.
45. Robock, A. (2000). Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191–219. DOI: <https://doi.org/10.1029/1998RG000054>.
46. Schmidt, A., Mills, M. J., Ghan, S., et al. (2018). Volcanic radiative forcing from 1979 to 2015. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(22), 12491–12508. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JD028776>.

The article was received by the editorial office on 02/22/2025, accepted for publication on 03/05/2026.

Батур М. О.

 0000-0001-9284-8858,

Сельбесоглу М. О.

 0000-0002-1132-3978

Стамбульський технічний університет, Стамбул, Туреччина

## Дослідження поширення вулканічного шлейфу і впливу осадження попелу на альbedo снігу в Антарктиді

УДК 551.521.14:551.217.2:551.324.24(99)(045)

Вулканічні виверження є важливим джерелом атмосферних аерозолів, що впливають на глобальний клімат шляхом зміни радіаційного балансу. У віддалених регіонах, таких як Антарктида, вулканічні попелові шлейфи від вивержень у Південній півкулі можуть впливати на альbedo снігу, змінюючи енергетичний баланс регіону. У цій роботі було досліджено поширення вулканічного попелу від південноамериканських вулканів над Антарктидою з використанням моделі HYSPLIT, а також дано аналіз впливу осадження попелу на альbedo снігу за допомогою моделі SNICAR-Adv3. Також в дослідженні було змодельовано різні сценарії вивержень і оцінено, як зміни оптичних властивостей снігу, зокрема альbedo, залежать від різних рівнів осадження вулканічного попелу. Отримані результати демонструють, що осадження попелу є найбільш значним у нижніх шарах атмосфери (0–4000 м) через гравітаційне осідання і близькість до поверхні, при цьому концентрація частинок у повітрі зменшується з висотою. Встановлено, що альbedo снігу може потенційно зменшуватися приблизно на 1 % внаслідок осадження вулканічного попелу. Результати свідчать про те, що поширення шлейфу та осадження попелу над Антарктидою можливі за певних атмосферних умов, однак ступінь впливу попелу на альbedo суттєво варіює. Така мінливість може призводити до прискореного танення снігу, впливати на кліматичну систему Антарктиди і змінювати регіональний енергетичний баланс.

**Ключові слова:** Антарктида; антарктичний клімат; альbedo снігу; зміни альbedo; поширення вулканічного попелу; гіпотетичне вулканічне виверження.

### Цитування:

Батур М. О., Сельбесоглу М. О. (2026). Дослідження поширення вулканічного шлейфу і впливу осадження попелу на альbedo снігу в Антарктиді. *Український географічний журнал*, 1, 41–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.041>



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.055>

Іваненко Є. І.

0009-0000-2224-0433

Інститут географії НАН України, Київ

## Картографічна база даних потенційних заповідних ділянок (на прикладі Подільсько-Придніпровського лісостепового краю)

УДК 502.4:528.94(477.4)(292.485)(045)

У дослідженні з використанням підходів зв'язності та репрезентативності представлено підхід до розроблення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок для подальшого їхнього заповідання. Відібрано 775 окремих потенційних заповідних ділянок у межах Подільсько-Придніпровського лісостепового краю сумарною площею понад 8832 км<sup>2</sup>, що у понад 4 рази більше за площу існуючих заповідних ділянок краю. Разом потенційні та існуючі ділянки становлять 12 % від площі регіону. Оцінено зв'язність запропонованої мережі. Вона добре зв'язана, в її межах формуються «коридори» протяжністю у сотні кілометрів. З огляду на те, що досліджуваний фізико-географічний край є одним з найскладніших з погляду заповідання, представлений алгоритм можна вдало застосовувати до інших природних регіонів і до всієї України загалом.

**Ключові слова:** потенційні заповідні ділянки, фізико-географічний край, картографічна база даних, заповідання, природно-заповідний фонд України.

### Актуальність теми дослідження

Заповідання природи є одним з інструментів збереження біорізноманіття. Важливість цього інструменту визнана як на національному, так і на глобальному рівнях, для нього визначені якісні та кількісні цілі.

На національному рівні в рамках відповідного нормативно-правового документа (Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [1]) визначено кількісну ціль — досягнення 15 % площі природно-заповідного фонду (далі — ПЗФ) від площі держави до 2030 р.

У цьому законі також зазначені якісні показники ПЗФ — у розділі III «Стратегічні цілі та

завдання» для цілі 2 «Забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України»:

«збільшення та розширення територій природно-заповідного фонду (зокрема заповідних зон у національних природних парках та регіональних ландшафтних парках), створення на суходолі і в акваторії Чорного та Азовського морів і забезпечення збереження і функціонування репрезентативної та ефективно керованої системи територій та об'єктів природно-заповідного фонду, у тому числі транскордонних та європейського і міжнародного значення» [1].

Отже, крім розширення самої площі ПЗФ, його мережа територій та об'єктів повинна бути репрезентативною та ефективно керованою.

### Цитування:

Іваненко Є. І. (2026). Картографічна база даних потенційних заповідних ділянок (на прикладі Подільсько-Придніпровського лісостепового краю). *Український географічний журнал*. 1, 55–65. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.055>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ці завдання кореспондуються з Цілями 2030 щодо «Глобального рамкового плану з біорізноманіття» [2], затвердженого у 2022 р. в рамках «Конвенції про охорону біологічного різноманіття» від 1992 р. У цілі 3 з назвою «Зберегти 30 % суші, внутрішніх вод і морів» читаємо:

«Забезпечити та зробити так, щоб до 2030 року принаймні 30 відсотків наземних ділянок та ділянок внутрішніх вод, а також морських і прибережних ділянок, особливо ділянок, які мають особливе значення для біорізноманіття та екосистемних функцій і послуг, були ефективно збережені та керовані за допомогою екологічно репрезентативних, добре зв'язаних та справедливо керованих систем заповідних територій та інших ефективних заходів, заснованих на просторовому принципі охорони природи» [2].

У цьому плані поставлено за ціль подвоєння площі, ніж наша національна ціль — 30 % на протигагу 15 % відповідно. Хоча тут ураховуються об'єкти не лише заповідної, а й інших ефективних природоохоронних мереж.

Крім кількісного, тут також зазначено якісні показники мереж, як-от: репрезентативність (екологічна) та справедливе управління, що загалом збігається з цілями українського законодавства. Також ідеться про зв'язність — показник, неіснуючий у нашому національному завданні. Це дуже важлива характеристика природного середовища, оскільки жодна природоохоронна ділянка малого, середнього чи навіть великого розміру не може протягом тривалого часу підтримувати та зберігати біорізноманіття ізольовано. До того ж така ділянка може стати важливим джерелом біорізноманіття для інших ділянок. Лише у виняткових випадках якісна екологічна зв'язність окремих ділянок може мати шкідливий вплив: поширюються загрози, наприклад, пожежі, інвазивні види, збудники хвороб тощо. Але загалом в Україні, як і в більшості густозаселених регіонів світу, зв'язність природного середовища сильно порушена перетвореним людиною середовищем, тому вкрай важливо його відновлювання.

Отже, зв'язність та репрезентативність — це два ключові принципи, керуючись якими необхідно створювати заповідну мережу.

Природоохоронна діяльність, зокрема і заповідна справа — це галузі, для яких дуже важливе централізоване загальнонаціональне управління, оскільки природа не знає державних кордо-

нів. Спорадична заповідна діяльність та опрацювання окремих планів на рівні областей, не узгоджених на рівні держави, призводить до формування розбалансованої мережі ПЗФ з непропорційною репрезентативністю та поганою зв'язністю. Такий стан речей не відповідає вищезгаданим цілям, визначеним законодавством.

Тож розвиток репрезентативної, ефективно керованої, а також зв'язної мережі територій та об'єктів ПЗФ є метою докладного загальнонаціонального плану. Частиною цього плану має бути створення і наповнення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок, якою послуговуватимуться на національному, регіональному та індивідуальному рівнях.

### Стан вивчення питання, основні праці

База даних потенційних заповідних ділянок є невід'ємною частиною процесу розвитку мережі ПЗФ. Вона може являти собою широкий перелік для всієї України або невеликий список з декількох пропозицій. Зазвичай вони опрацьовуються від рівня окремих областей (наприклад, для Київської [3] чи Херсонської [4]) до рівня всієї України (приміром, у наукових дослідженнях [5], державних програмах [6], указах Президента України [7–10]), а також для окремих природних регіонів, (як-от: приморських територій [11] або долин річок [12]). Найґрунтовніша робота з відбору потенційних заповідних ділянок була проведена колективом авторів, зокрема й автором цієї статті, та висвітлена у монографії «Методологія і практика оцінювання території України для заповідання» [13].

Але кожен з представлених вище переліків має один або кілька з таких недоліків:

1. *Відсутність прив'язки до природних регіонів.* Розподіл потенційних заповідних ділянок провадиться переважно між адміністративними областями. Зокрема, так це було проведено у вищезгаданій монографії [13] і так це зазвичай здійснюють державні органи [14]. Це зручно для управління на рівні місцевих органів влади, але такий поділ не відображає стану реального природного поділу для створення репрезентативної мережі ПЗФ.

2. *Відірваність від загальноукраїнського контексту,* епізодичність пропозицій щодо заповідання за принципом «заповідати те, що вдалося». Відсутність детального загальноукраїнського плану розвитку ПЗФ не дозволяє до-

давати до нього пропозиції конкретних ділянок для заповідання.

3. *Відсутність картографічних матеріалів.* Це ключова проблема багатьох пропозицій щодо заповідання. І це не дивно, зважаючи на те, що точні межі навіть уже існуючих територій та об'єктів ПЗФ організовано почали фіксувати лише останніми роками, зокрема в рамках проекту «Підтримка природно-заповідних територій в Україні» [15].

Тому питання створення вичерпної картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок є органічним і має виконуватися разом зі створенням картографічної бази даних вже існуючих заповідних ділянок.

Методичні підходи з визначення меж потенційних заповідних ділянок, на основі яких окреслювалися межі потенційних заповідних ділянок для цього дослідження, були описані автором у відповідній праці [16]. Географічні принципи з розширення ПЗФ, згідно з якими наповнювалася картографічна база даних потенційних заповідних ділянок, описана автором у публікації [17], а також у монографії [13].

### Мета дослідження

Метою дослідження є розроблення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок на прикладі Подільсько-Придніпровського лісостепового краю.

### Методи дослідження

Метод або алгоритм цього дослідження, результатом якого є створення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок для природного регіону, а зрештою — для всієї України, починається з розподілу її території на природні регіони і розроблення для кожного регіону окремих баз даних, узгоджених загальнонаціональними цілями та уточнених характерними для регіону завданнями.

Для створення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок джерелами інформації є:

- 1) дистанційні знімки поверхні землі;
- 2) картографічні матеріали;
- 3) польові дослідження;
- 4) спеціалізована література;
- 5) фотознімки з місцевості.

У процесі створення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок для По-

дільсько-Придніпровського краю здебільшого використовувалися дистанційні знімки. Уточнення вносилися за всіма іншими доступними типами джерел.

Для роботи з дистанційними знімками послуговувалися відкритою програмою «Google Планета Земля» [18]. З її допомогою можна здійснювати швидкий огляд території України, для більшої частини якої доступні знімки роздільної здатності 1–3 м. Крім цього, тут можна відстежувати абсолютні висоти кожної точки поверхні землі, що є дуже важливим для розуміння перепаду висот, які впливають на формування природних комплексів. У базовому наборі є інструмент нанесення полігонів — ключовий інструмент для окреслення меж потенційних заповідних ділянок.

Щоб оцінити існуючий стан ПЗФ регіону були використані ГІС-карти, складені в рамках проекту «Підтримка природно-заповідних територій в Україні» [15].

Середній для України відсоток заповідних територій повинен становити 15 %. У Подільсько-Придніпровському краї нині ця частка становить 2,27 %. Беручи до уваги те, що це — один із найнижчих відсотків серед інших регіонів України, для цього регіону поставлено мету, меншу за середню в Україні — не 15 %, а 12 %. Ця різниця надалі буде збалансована більш перспективними регіонами, де процес заповідання історично відбувається активніше і має більший потенціал узагалі.

Потенційні заповідні ділянки окреслювалися так, щоби жодне з місць у регіоні не було віддалене від ділянок ПЗФ більш ніж на 10 км, а власне заповідні ділянки розміщувались одна від одної приблизно на 3 км. Обґрунтування максимальних відстаней між заповідними ділянками для формування хорошої зв'язності заповідної мережі та підходи до побудови буферів навколо заповідних ділянок для їхнього картографічного оцінювання описані автором у відповідних дослідженнях [13, 17].

До складу відібраних ділянок увійшли такі, що мають площу не менше ніж 50 га. Якщо ділянка мала витягнуту конфігурацію, то середня ширина ділянки становила не менше 300 м (в окремих випадках — не менше ніж 200 м).

До потенційних заповідних ділянок були відібрані ті, що мають природний стан, тобто принаймні декілька років не зазнавали активного

господарського впливу. Значна увага приділялася формі власності ділянок, яку часто можна відстежувати візуально (наприклад, ліси — це переважно державна або комунальна власність), а також за кадастровою картою та іншими джерелами.

## Виклад основного матеріалу

### Типи відібраних ділянок

Усі відібрані потенційні заповідні ділянки за біотопами, які на них сформувались, і які ідентифікуються за дистанційними знімками, можна поділити на три типи:

1. *Лісові біотопи* (приблизно 80 % від усіх відібраних ділянок). На дистанційних знімках вони виділяються кольором, його насиченістю та текстурою (рис. 1). Лісові масиви зазвичай перебувають у державній чи комунальній власності, зрідка — у приватній. На землях державної та комунальної форми власності легше впровадити заповідний режим. Для Подільсько-Придніпровського краю ліси є типовим біотопом.

У межі потенційних заповідних ділянок здебільшого не були включені молоді насадження

господарських лісів (на дистанційних знімках їх видно за упорядкованим розміщенням дерев з невеликими кронами).

2. *Трав'янисті біотопи* (майже 10 % від усіх відібраних ділянок). Сюди належать помірно або слабко зволожені безлісі землі, що вже хоча б декілька років не зазнають інтенсивного господарського впливу. На таких землях відновлюється трав'яниста рослинність, а випасання чи сінокосіння не дозволяє деревам розвиватися. подекуди зустрічаються лише окремі дерева та чагарники, які не формують лісового покриву.

На дистанційному знімку ці землі видно за нерегулярністю форм і кольорів (на відміну від орних полів, які видно за паралельними смужками оранки та/або за рівномірним забарвленням) (рис. 2). Найчастіше вони розміщуються на непридатних для оранки схилах. Імовірно, і зараз, і в майбутньому ці землі не оброблятимуться, що є сприятливим фактором для заповідання.

Для Подільсько-Придніпровського краю трав'янисті біотопи є дуже цінними. На них вже сформовані або можуть бути сформовані степові біотопи — типові для цього регіону.



Рис.1. Лісові біотопи, віднесені до потенційних заповідних ділянок (дистанційний знімок «Google Планета Земля» [18]).



Рис. 2. Трав'янисті, нерозорані біотопи, віднесені до потенційних заповідних ділянок (дистанційний знімок «Google Планета Земля» [18]).



Рис. 3. Відкрита водна поверхня річки, віднесена до потенційних заповідних ділянок (дистанційний знімок «Google Планета Земля» [18]).



Рис. 4. Надмірно зволожені землі, віднесені до потенційних заповідних ділянок (дистанційний знімок «Google Планета Земля» [18]).

3. Водно-болотні біотопи (приблизно 10 % від усіх відібраних ділянок). Це — відкриті водні поверхні та сильно зволожені землі. Водні поверхні можна ідентифікувати за допомогою дистанційного знімку — вони відрізняються за кольором, мають одноманітне забарвлення, обмежені характерними для річок або озер плавними лініями (рис. 3). Сильно зволожені землі розташовані у знижених місцевостях, які можна визначити за абсолютними висотами та за забарвленням, яке контрастує з навколишніми землями (рис. 4). Часто вони межують із відкритими водними поверхнями.

Більшість водно-болотних угідь перебувають у державній власності. Вони мають непропорційно велику вагу з погляду охорони природи, оскільки є джерелом водних ресурсів і ключовими осередками для багатьох видів біоти, водночас вони дуже вразливі до забруднення і господарської модифікації. Тому вони потребують особливої охорони.

Водно-болотні біотопи, де можливо, були включені у склад лісових та трав'янистих ділянок. Об'єкти з відкритою водною поверхнею в межах населених пунктів не включались, якщо їхній поперечний розмір не перевищував 500 м або якщо вони з обох берегів були оточені щільною забудовою.

#### Картографічна база даних потенційних заповідних ділянок Подільсько-Придніпровського краю

Загалом було відібрано 775 окремих ділянок сумарною площею понад 7927 км<sup>2</sup> (рис. 5, 6). Площа існуючих заповідних ділянок разом із потенційними становить 9795 км<sup>2</sup> або 11,90 % від площі краю.

Розміри окремих ділянок становлять від 58 до 60 тис. га (табл. 1). Найбільший заповідний потенціал мають придніпровська та подільська частини краю.

Таблиця 1. Розподіл потенційних заповідних ділянок за основними характеристиками

Тип	Розміри, га	Кількість	Сумарна площа, га
малі	50–100	36	3026
	100,1–500	384	97 041
середні	500,1–1000	163	113 478
	1000,1–5000	167	339 858
	5000,1–20 000	22	191 972
великі	20 000,1–50 000	1	22 251
	> 50 000	2	115 592

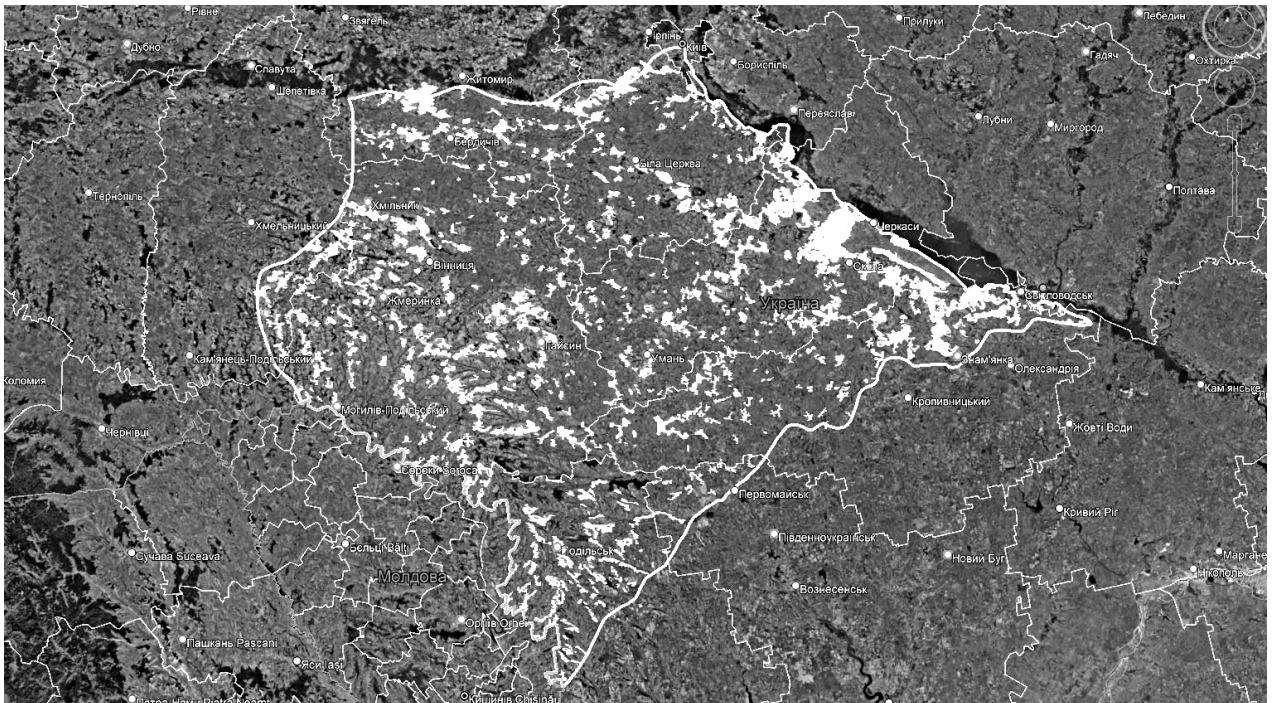
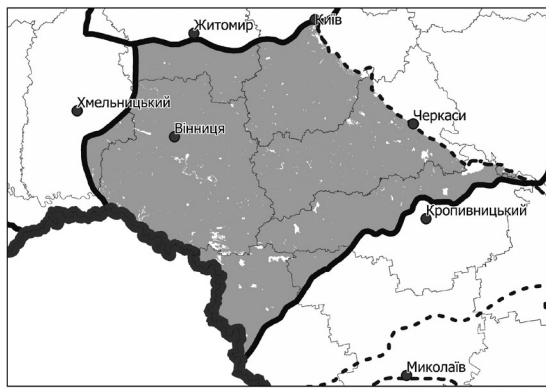
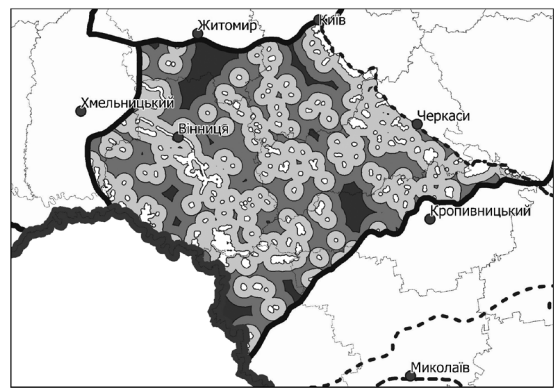


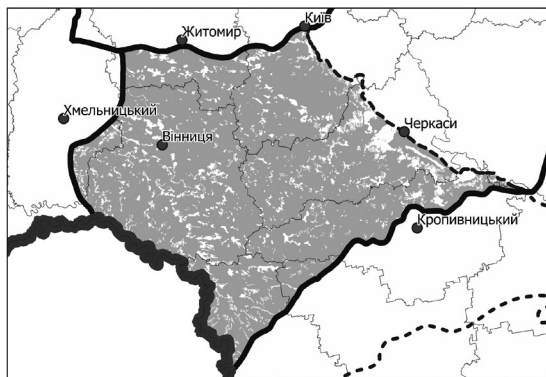
Рис. 5. Потенційні заповідні ділянки в межах Подільсько-Придніпровського краю (дистанційний знімок «Google Планета Земля» [18]).



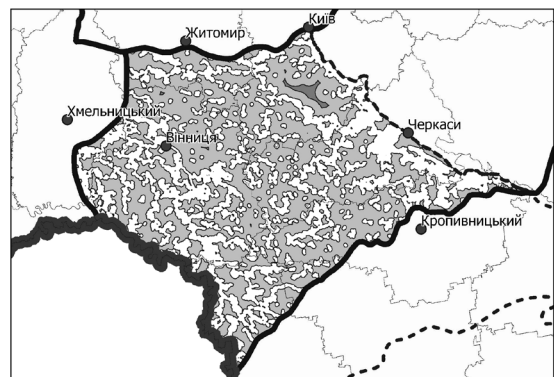
а



а



б



б

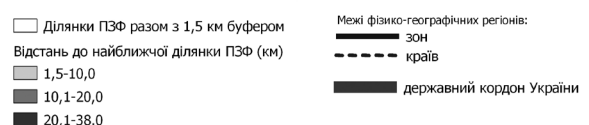
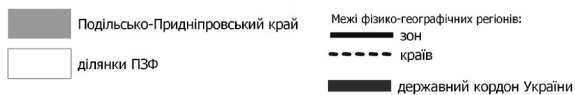


Рис. 6. Ділянки ПЗФ  
Подільсько-Придніпровського краю

Рис. 7. Зв'язність ділянок ПЗФ  
Подільсько-Придніпровського краю

Рис. 6, 7: а — існуючі заповідні ділянки; б — потенційні та існуючі заповідні ділянки.

Побудовані буфери навколо заповідних ділянок на відстані 1, 5, 10 та 20 км демонструють погану зв'язність існуючої заповідної мережі краю (рис. 7). Буфери на відстані 1,5 км навколо сусідніх ділянок дотикаються зрідка і майже не формують неперервних коридорів. Також погано зв'язані кластери заповідних ділянок у межах буферів 10 км (тобто на відстані до 20 км). Окремі ділянки віддалені одна від одної на відстані до 38 км.

Натомість потенційні ділянки разом з уже існуючими розташовані так, що майже кожна точка в межах краю віддалена від найближчої заповідної ділянки не більше ніж на 10 км (рис. 7). Лише на незначному клаптику у північно-східній частині краю віддаль становить 10–15 км. Це формує хорошу зв'язність ПЗФ краю.

Велике простягання (сотні кілометрів) мають шляхи, що поєднують близькі або дотичні заповідні ділянки, відображені неперервним про-

стяганням 1,5-кілометрових буферів (віддалені одна від одної на 0–3 км). На рис. 8 показано картосхему з простяганням цих шляхів. Найдовший неперервний шлях простягається з півночі на захід. Його довжина становить майже 500 км. Загалом у межах краю формуються дві мережі таких шляхів — уздовж Дніпра та вздовж Подільської височини. Зараз ці дві мережі шляхів не поєднуються, найкоротший шлях до їхнього з'єднання становить 30 км. Їхнє об'єднання може стати предметом досліджень надалі. Окремі невеликі відгалуження неперервних шляхів прокладалися так, щоб їхня довжина перевищувала 50 км.

На картосхемі з рис. 8 також відображені райони концентрації заповідних ділянок. Для цього площу фізико-географічного краю було розділено на рівновеликі ділянки площею 1000 км<sup>2</sup> (переважно — це квадрати, тому їх умовно можна назвати пікселями, хоча на краях краю

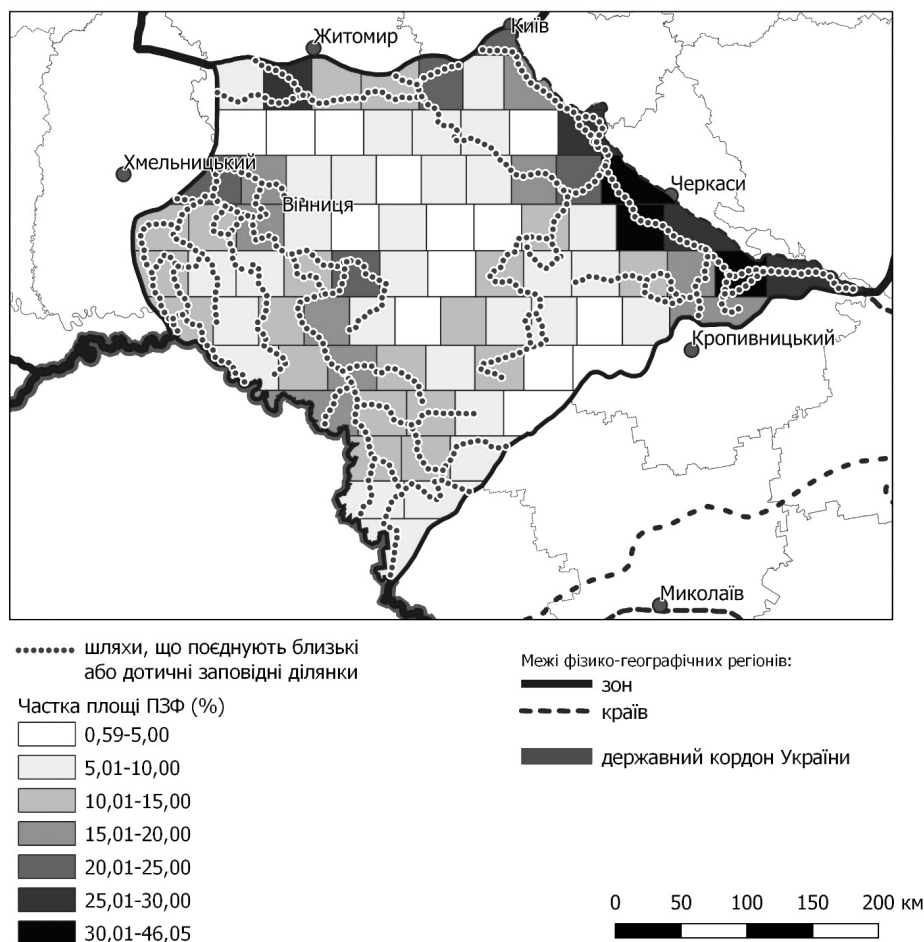


Рис. 8. Розподіл рівнів заповідності Подільсько-Придніпровського краю і зв'язність потенційних та існуючих ділянок ПЗФ

вони вписуються у криву лінію його меж і повторюють її обриси). Окремі пікселі мають частку заповідності від 0,59 % до 46,05 %. Найбільший рівень заповідності показано вздовж Дніпра, на півночі та в межах Подільської височини. Найменший — у центрі та на південному сході.

### Висновки

У статті викладено принципи і підходи до створення картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок на прикладі великого природного регіону — Подільсько-Придніпровського лісостепового краю, внаслідок застосування яких запропоновано репрезентативну і зв'язану системи територій та об'єктів ПЗФ.

Подільсько-Придніпровський край має один з найнижчих рівнів заповідності в Україні серед інших фізико-географічних країв — 2,27 %, зокрема через загальний низький потенціал до заповідання нових ділянок. Водночас представлений у дослідженні алгоритм дозволяє відібрати достатню (з огляду на загальнодержавну ціль — 15 % до 2030 р.) кількість потенційних заповідних ділянок для подальшого їхнього заповідання. Запропоновані заповідні ділянки разом з уже існуючими становлять майже 12 % від площі краю, що на тлі згаданого низького потенціалу є цілком достатнім завданням. Оче-

видно, що не всі вони можуть бути заповідані. Але у краї наявні додаткові потенційні ділянки, які можна запропонувати. Їхня площа становить 2–3,5 % від площі краю.

Представлена потенційна заповідна мережа, сформована із запропонованих та вже існуючих заповідних ділянок, має високу зв'язність, що відповідає цілям власне ПЗФ, а також цілям екомережі, що створюється на основі ПЗФ. На запропонованих ділянках існує різноманіття біотопів, хоча і зі значно більшою часткою лісових біотопів. Але загалом запропонована мережа є репрезентативною для краю. Ця мережа відповідає цілям, визначеним у національному законодавстві, та глобальним цілям, викладеним у плані в рамках «Конвенції про біологічне різноманіття».

### Новизна дослідження

У дослідженні описано підхід до побудови картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок, що задовольняє актуальні національні та глобальні вимоги до побудови заповідної мережі. Також результатом дослідження стали розробка та аналіз актуальної картографічної бази даних потенційних заповідних ділянок для Подільсько-Придніпровського фізико-географічного лісостепового краю, з урахуванням існуючої заповідної мережі.

### References [Література]

1. *On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030*. Law of Ukraine No. 2697-VIII (2019). (Ukraine). [Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України № 2697-VIII (2019) (Україна)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
2. *2030 Targets (with Guidance Notes)*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity website / Accessed 16 September 2025. URL: <https://www.cbd.int/gbf/targets>.
3. Vasyliuk, O., Kostyshyn, V., Norenko, K., Plyha, A., Prekrasna, Ye., Kolomytsev, H., & Fatikova, M. (2012). *Nature Reserve Fund of Kyiv Region*. Kyiv: NECU. 338 p. [In Ukrainian]. [Васильюк О., Костюшин В., Норенко К., Плига А., Прекрасна Є., Коломицев Г., Фатікова М. *Природно-заповідний фонд Київської області*. Київ: НЕЦУ. 2012. 338 с.]
4. Moisiienko, I. I., Khodosovtsev, O. Ye., Pylypenko, I. O., Boiko, M. F., Malchukova, D. S., Klymenko, V. M., Ponomarova, A. A., Zakharova, M. Ya., Darmostuk, V. V. (2020). *Potential protected areas of the Kherson region*. Kherson: Helvetica Publishing House. 166 p. [In Ukrainian]. [Мойсієнко І. І., Ходосовцев О. Є., Пилипенко І. О., Бойко М. Ф., Мальчикова Д. С., Клименко В. М., Пономарьова А. А., Захарова М. Я., Дармостук В. В. *Перспективні заповідні об'єкти Херсонської області*. Херсон: Видавничий Дім «Гельветика». 2020. 166 с.]. DOI: <https://doi.org/10.32782/978-966-992-049-2/1-166>.
5. Sheliakh-Sosonko, Yu. R. (general editor). (1987). *A potential network of protected objects of Ukraine*. Kyiv: Naukova dumka, 290 p. [Шеляг-Сосонко Ю. Р. (общ. ред.). (1987). *Перспективная сеть заповедных объектов Украины*. Киев: Наукова думка. 290 с.][in Russian/]
6. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine “On the Program for the Prospective Development of the Nature Reserves in Ukraine” dated September 22, 1994 No. 177/94-VR. Official web portal of the Parliament of Ukraine. Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Постанова Верховної Ради України «Про Програму перспективного розвитку заповідної справи в Україні» від 22 вересня 1994 року № 177/94-ВР. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/177/94-%D0%B2%D1%80#Text>.
7. *On urgent measures to expand the network of national natural parks*. Decree of the President of Ukraine dated August 27, 2008 No. 774/2008. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про невідкладні заходи щодо розширення мережі національних природних парків. Указ Президента України

- від 27 серпня 2008 року № 774/2008. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/774/2008#Text>.
8. *On the reservation for the subsequent preservation of valuable natural areas*. Decree of the President of Ukraine dated March 10, 1994 No. 79/94. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про резервування для наступного заповідання цінних природних територій. Указ Президента України від 10 березня 1994 року № 79/94. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/79/94#Text>
  9. *On the reservation of valuable natural areas for future preservation*. Decree of the President of Ukraine dated April 24, 1998 No. 374/98. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про резервування цінних природних територій для наступного заповідання. Указ Президента України від 24 квітня 1998 року № 374/98. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374/98#Text>
  10. *On the expansion of the network and territories of national natural parks and other nature reserves*. Decree of the President of Ukraine dated December 1, 2008 No. 1129/2008. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про розширення мережі та територій національних природних парків та інших природно-заповідних об'єктів. Указ Президента України від 1 грудня 2008 року № 1129/2008. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1129/2008#Text>
  11. *On approval of the National program for the protection and restoration of the environment of the Azov and Black seas*. Law of Ukraine dated March 22, 2001 No. 2333-III. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про затвердження Загальнодержавної програми охорони та відтворення довкілля Азовського та Чорного морів. Закон України від 22 березня 2001 року № 2333-III. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2333-14#Text>
  12. Tsaryk, P., Tsaryk, L., & Vitenko, I. (2010). Prospects for the creation of protected areas in the valleys of the Hnizna, Dzhuryun and Vilkhovets rivers. *Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University. Ser. Geography*. Ternopil: Type. 2, 236–242. [In Ukrainian]. [Царик П., Царик Л., Вітенко І. Перспектива створення заповідних територій у долинах річок Гнізна, Джурун та Вільховець. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Географія*. Тернопіль: Тайп. 2010. № 2. С. 236–242].
  13. Rudenko, L. H. (ed.) (2020). *Methodology and practice of assessing the territory of Ukraine for conservation*. Kyiv: Naukova Dumka. 528 p. [In Ukrainian]. [Руденко Л. Г. (ред.) *Методологія і практика оцінювання території України для заповідання*. К.: Наукова Думка. 2020. 528 с.].
  14. *On approval of the procedure for interaction of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine with regional, Kyiv and Sevastopol city state administrations on environmental protection issues*. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated February 7, 2023 No. 242/39298. Official web portal of the Parliament of Ukraine / Accessed 16 September 2025. [In Ukrainian]. [Про затвердження Порядку взаємодії Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України з обласними, Київською і Севастопольською міськими державними адміністраціями з питань охорони навколишнього природного середовища. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 07 лютого 2023 р. № 242/39298. Офіційний вебпортал парламенту України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0242-23#Text>
  15. *NRF cadastre database: 1851 NRF objects now have clear boundaries on the map*. Web portal of the Nature Reserve Fund of Ukraine / Accessed 16 September 2025. URL: <https://wownature.in.ua/baza-danykh-kadastru-pzf-1851-ob-iekt-pzf-teper-maie-chitki-mezhi-na-kartii/> [In Ukrainian]. [База даних кадастру ПЗФ: 1851 об'єкт ПЗФ тепер має чіткі межі на карті. Вебпортал Природно-заповідного фонду України / Режим доступу (16.09.2025)]. URL: <https://wownature.in.ua/baza-danykh-kadastru-pzf-1851-ob-iekt-pzf-teper-maie-chitki-mezhi-na-kartii/>
  16. Ivanenko, Ye. I. (2014). Methodological approaches to determining the boundaries of promising protected areas (using the example of areas of the steppe zone). *Ukrainian Geographical Journal*. 4, 63–68. [In Ukrainian]. [Іваненко Є. І. (2014). Методичні підходи до визначення меж перспективних заповідних об'єктів (на прикладі ділянок степової зони). *Український географічний журнал*. 4. С. 63-68]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2014.04.063>
  17. Ivanenko, E. (2015). Primary Criteria of Protected Areas Network Expansion (Nature Reserve Fund of Ukraine Case Study). *Geografický časopis*, 3. Bratislava.
  18. Google Planet Earth [Google Планета Земля] URL: <https://earth.google.com/web/>

**Стаття надійшла до редакції 17.09.2025 р., прийнята до друку 20.01.2026 р.**

Ivanenko, Ye. I.

 0009-0000-2224-0433

Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## Cartographic Database of Potential Protected Areas (Podilsko-Prydniprovskiy Forest-Steppe Region Case Study)

UDC 502.4:528.94(477.4)(292.485)(045)

The aim of the study is to develop a cartographic database of potential protected areas for their further conservation using the example of the Podilsko-Prydniprovskiy forest-steppe region. It is expected that such a database will be expanded nationwide in Ukraine. The demand for such a database stems from the need to expand the Nature Reserve Fund of Ukraine to 15% in accordance with Ukraine's state environmental policy strategy for the period until 2030. That is more than twice the current state. This goal is consistent with the EU Biodiversity Strategy 2030 and the 2030 Targets of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, both approved under the Convention on Biological Diversity. Using connectivity and representativeness approaches to build a reserve network, 775 individual potential protected areas were selected within the Podilsko-Prydniprovskiy forest-steppe region with a total area of over 8832 km<sup>2</sup>, which is more than 4 times larger than the area of the existing protected areas of the region. Potential and existing protected areas cover about 12% of the region. The connectivity of the proposed network was assessed. It is well-connected via corridors hundreds of kilometers long. Given that the considered region is among the most complex from a conservation perspective, the presented algorithm for developing a cartographic database of potential protected areas can be successfully applied to other natural regions and to Ukraine as a whole.

**Keywords:** *potential protected areas; natural regions; cartographic database; conservation; Nature Reserve Fund of Ukraine.*

### For citation:

Ivanenko, Ye. I. (2026). Cartographic database of potential protected areas (Podilsko-Prydniprovskiy forest-steppe region case study). *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 55–65. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.055>

Copyright © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.066>Ісаєв Д. В.<sup>1</sup>

0009-0008-8730-4424

Лепетюк В. Б.<sup>1</sup>

0000-0002-2066-4424

Остроух В. І.<sup>2</sup>

0000-0003-4097-1736

<sup>1</sup> Державне науково-виробниче підприємство «Картографія», м. Київ<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

## «Атлас учителя історії» — сучасний погляд на історичне картографування

УДК 528.9:930.85:912:37.016:930.2:355/359(045)

Метою дослідження є дати аналіз загальним тенденціям історичного картографування на прикладі як українських, так і західноєвропейських атласів. Презентовано новий твір — «Атлас учителя історії» — підсумок тридцятирічного досвіду історичного картографування в ДНВП «Картографія», у якому вперше в Україні представлено події всесвітньої історії на рівні, вищому за шкільний. Такі атласи формують цілісне уявлення про події минулого, стимулюють зацікавлення історією та географією. Розглянуто класифікацію історичних карт, зв'язок української історичної картографії із західноєвропейською традицією. Обґрунтовано головну, на думку упорядників, задачу історичної картографії — висвітлення політичної та воєнної історії. Запропоновано форми використання атласу.

**Ключові слова:** атласне картографування, історичне картографування, історична карта, класифікація історичних карт, атлас учителя історії.

### Актуальність теми дослідження

Сучасне атласне картографування є важливим інструментом у візуалізації, аналізі та поширенні інформації. Атласи — це незалежне джерело знань, що підтримує освітній процес, наукові дослідження, розширює культурні обрії. Особливої ваги набуває створення тематичних атласів, зокрема історичних, які забезпечують розуміння певної теми в просторово-часовому контексті. Вони допомагають побачити історію не лише як хронологію подій, а як живу, мінливу картину світу. Такі атласи формують цілісне уявлення про події минулого, стимулюють зацікавлення історією та географією.

Особливої актуальності історичне картографування набуває в Україні, в умовах пробудження національної свідомості, збереження культурної спадщини та колективної пам'яті, переосмислення історичних процесів.

### Стан вивчення питання

Основоположником історичної картографії вважають А. Ортеліуса, який за текстами античних письменників створив перший історичний атлас. Розлогу ретроспективу галузі запропонував В. Гоффарт у праці «Історичні атласи. Перші три сторіччя, 1570–1870» [1]. Утім, на думку О. Маркової, історична картографія як самостійна галузь знань виникла на початку ХХ ст. на перетині історії, географії та картографії [2]. Згодом оформилося визначення спеціальної дисципліни, головним завданням якої є укладання історичних карт та атласів.

В Україні піонерами історичної картографії були М. Грушевський [3] і В. Кубійович [4]. Ідея створення комплексного атласу України, ініціатором якої був А. Харченко, постала тільки у 1960-х рр. Деяко пізніше, в 1978 р., вийшов перший том, присвячений природі України.

### Цитування:

Ісаєв Д. В., Лепетюк В. Б., Остроух В. І. (2026). «Атлас учителя історії» — сучасний погляд на історичне картографування. *Український географічний журнал*. 1, 66–74. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.066>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Передбачалось, що один з томів буде присвячено історії України.

Понад тридцять років науковці Інституту історії НАН України працювали над збором інформації для створення фундаментального атласу «Історія українського народу і Української РСР», але з різних причин працю не було завершено. Тоді й виявилися проблеми історичної картографії в Україні. На думку одного із провідних дослідників історії картографії Я. Дашкевича [5], в Україні бракує істориків, які би були обізнані на картографії, а тема «історія та карти» сконцентрована переважно на історії картографії України.

Якщо не враховувати шкільні атласи, зміст яких пов'язаний з навчальними програмами, історичних атласів в Україні вийшло небагато. Це зокрема історичні атласи України Ю. Лози [6–8], Д. Ісаєва [9–11], В. Грицеляка та співавторів [12], Д. Вортмана зі співавторами [13]. Вагомим наробком в історичному картографуванні можна вважати історичний розділ «Національного атласу України» [14].

Практика історичного картографування оформлювалась у теоретичні дослідження. Їй присвятили свої праці Я. Дашкевич, В. Кубійович, Р. Сосса [15, 16], Ю. Лоза [17], Д. Ісаєв [18, 19], П. Іваньков [20] та ін.

Серед іноземних дослідників згадаємо К. Віген (історикія картографії Японії) [21], Г. Шильдер (Нідерланди) [22], Ї. Мочичкова (Чехія) [23], Ч. ван Дузер (США), Дж. Б. Гарлі (Велика Британія), Б. Конопська (Польща) тощо. Їхні наукові зусилля істотно вплинули на творчу роботу українських історико-картографів.

### Мета дослідження

Мета дослідження — дати аналіз загальним тенденціям історичного картографування на прикладі українських і західноєвропейських атласів (з огляду на різні групи користувачів та різні підходи до зображувальних засобів і змістовного наповнення), а також презентація та аналіз нового твору — «Атлас учителя історії» [9].

### Методи дослідження

У дослідженні надано зразки використання літературних джерел в історичній картографії, проаналізовано відповідність якості географічної основи тематичному змістові карт. Розглянуто

новації у вивченні української та всесвітньої історії в школі — інтеграція цих курсів (розгляд української історії в загальноєвропейському/світовому процесі). Наголошено на дидактичних можливостях, що їх відкриває картографічна грамотність під час шкільних уроків історії, зокрема під час практичних занять.

### Виклад основного матеріалу

Історична картографія, як галузь знань, забезпечує просторову складову вивчення історії в школі або у виші, допомагає читачеві розібратися в подіях історичної чи то художньої літератури, править за інструмент картографічного методу дослідження в науковій чи політичній діяльності. Звідси й класичний поділ історичних карт за призначенням:

1. Наукові або монографічні карти, які несуть науково-дослідницьку інформацію. Вони вирізняються високою точністю фактажу, призначені для наукової роботи та є джерелом карт нижчого порядку.

2. Довідкові або науково-популярні карти поширюють історичні знання та зорієнтовані на тих, кого не задовольняють простота шкільних карт і тематична вузькість та специфічність наукових. Вони надають дещо спрофановане трактування подій, але бувають вельми інформативними.

3. Навчальні карти зорієнтовані на рівень знань, що відповідає початковій, середній або вищій школі. Це наймасовіший вид історико-картографічної продукції. Так сталося, що в сучасній українській історичній картографії випуск навчальних атласів передував науковим, а не навпаки, як би мало бути. Тож і завдання перед навчальними атласами більш широкі — робити переконливішими тексти підручника і водночас бути універсальними, пов'язаними з усім масивом історичної літератури. Уміння користуватися таким атласом передбачає новий рівень історичної освіти. Допомогти учневі зрозуміти мову карти має учитель історії, і в допомогу йому створений «Атлас учителя історії» (рис. 1), покликаний зокрема популяризувати історичні карти в навчанні [9].

Українські навчальні атласи з історії за змістом і насиченістю інформацією наближуються до довідкових. Саме надмірну інформативність іноді вважають чи не головним їхнім недоліком. Але ретроспективний огляд доводить, що при-



Рис. 1. Загальний вигляд обкладинки і змісту твору «Атлас учителя історії» [9]

хильники такої думки орієнтуються на атласи 1970-1980-х рр.

Пізньорадянські атласи, копіюючи попередні видання, рік од року ставали все більш примітивними і беззмистовними. Дореволюційні атласи для гімназій та й радянські атласи повоєнних часів, деякі сучасні закордонні атласи — це насправді глибоко продумані навчальні посібники для вивчення історії і додаткові джерела знань. За основну проблему історичної картографії слід визнати не насиченість змістом, а протиріччя між обмеженістю візуальних засобів і сповненою напівтонами мінливою історичною реальністю, що її треба виразити конкретикою умовних позначень.

За широтою охоплення теми історичні карти можна умовно поділити на загальні — такі, що комплексно охоплюють мало не всі значущі події на певній території в певний відрізок часу, та окремі — такі, що докладно аналізують тільки один бік події або явища. Очевидно, що перевага надається загальним картам. А через дрібний масштаб історичних карт, що обумовлено розмірами видання, більшість сучасних історичних карт мають оглядовий характер.

Не менш важливим в історичній картографії є поділ карт за історичними періодами: доісторичних часів (здебільшого археологічні), історії стародавнього світу, середніх віків, карти з

новою та новітньою історії. Близький до такого поділ застосовано в «Атласі учителя історії», який за призначенням межує між довідковими та навчальними.

Джерелом фактичного матеріалу історичних карт є історична наука. Реалізація проекту зі створення «Атласу учителя історії» передувала тривала підготовча робота. Вивчаючи історичну літературу, картограф трансформує її зміст у графічну форму. Особливу цінність у цьому випадку набувають роботи тих істориків, які приділяють увагу топографії подій. Як приклад, може бути «Історія Риму» Нобелівського лавреата Т. Моммзена, текст якої використовувався при укладанні відповідних карт. Карту походів Александра Македонського (с. 21) було укладено за матеріалами однойменної монографії І. Шифмана, а карту Великих географічних відкриттів (с. 70–71) створено на основі матеріалів Й. Магідовича, Дж. Бейкера та Р. Хенніга тощо.

Чудовим орієнтиром є праці М. Грушевського, на період Київської держави — «Літопис руський». Укладати карти козацької доби допоміг «Літопис Самійла Величка» і текст «Українська національна революція XVII ст. (1648-1676 рр.)» за авторством В. Смоля та В. Степанкова [24]. Передбачається, що на уроках історії вчитель запропонує школярам здійснити зворотний процес — описати історичну подію, скористав-

пись картою з атласу. У цьому, на нашу думку, і полягає практична цінність шкільної історичної картографії.

Значна кількість історичних сюжетів вже є добре відомими читачам, вони багаторазово картографувалися і не потребують глибокого авторського опрацювання. Наприклад, в українській історії — це походи Богдана Хмельницького, у всесвітній історії — хрестові походи тощо. У цих випадках припустимо використовувати досвід попередників. Та сучасний історико-картограф не повинен ставати заручником консервативних традицій своєї спеціальності. У вік інформації з'явилися можливості по-новому подивитися на старі картографічні сюжети, що здавалися непохитними у своїй досконалості. До прикладу, карти Арабського Халіфату майже без змін перевидавалися від часів виходу в світ «Енциклопедії Брокгауза-Ефрона» (1890 р.) або «Історичного атласу В.-Р. Шеперда» (1911 р.), незважаючи на те, що дослідження історії арабських країн пішло далеко вперед. Відтепер, укладаючи історичну карту будь-якої іноземної держави, можна спиратися на національні картографічні та літературні джерела, що й було задіяно в цьому атласі.

Працюючи над кожним новим атласом, історико-картограф завжди використовує вже існуючі картографічні джерела. Це насамперед авторитетні історичні атласи широко відомих та визнаних у світі видавництв. У картографічному довідковому бюро ДНВП «Картографія» зібрано чималу колекцію подібних видань. Так, наприклад, великоформатний «Атлас і хроніка світової історії» [25] (Німеччина) багато в чому був взірцем у роботі над «Атласом вчителя історії». Видання за хронологією поділяється на шість розділів і охоплює період від доісторичних часів до початку XXI ст. Представлена історія всіх материків, країни Європи — докладно; Азія, Африка, Америка — оглядово. Але найбільшу увагу приділено історії Німеччини.

Крім політичної історії багато карт присвячені культурі, релігії, господарству, етнічним і соціальним явищам — класичний набір тем комплексного історичного атласу. Карти вирізняються науковим підходом, насиченим змістом і якісною графікою. Зображувальні прийоми характерні для німецької картографічної школи. Атлас доповнено коментарями, біографіями

історичних постатей, хронологічними таблицями і покажчиком.

Іншим атласом, на який варто звернути увагу, є великоформатний «Атлас світової історії» [26] (Італія). Він поділяється на чотири розділи: «Античність», «Середньовіччя», «Модерний час», «Сучасність». Природно, що видавці надали пріоритет італійській історії: у кожному розділі представлено докладні карти Італії в масштабі 1:2 500 000. Чим далі від Італії, тим «скупішим» стає зміст карт і дрібнішими масштаби, тим частіше трапляються прикрі помилки. Аж до того, що на картах Східної Європи XVI–XVII ст. можна побачити сучасні міста: Сімферополь, Маріуполь, Ставрополь, Новоросійськ, Ростов-на-Дону. Попри солідний авторський колектив і об'ємну бібліографію, таке незнання історичної географії віддалених країн розчаровує. Недостатньо уваги, на нашу думку, приділено й географічним основам, так на Кубані (карта показує події римських часів) показано водосховище; складається враження, що південь середньовічної України — це хліборобський край, хоча відомо, що тоді там було кочове скотарство.

Карти італійського атласу простіші за німецькі, проте відрізняються графічним експериментуванням, оригінальними умовними знаками і, особливо, текстурами, що накладаючись одна на одну створюють багатшаровість змісту. Половину видання займають хронологічні таблиці, текстова частина з ілюстраціями, покажчик. Попри це, атлас скоріше популярний ніж науковий.

Французький «Атлас всесвітньої історії» [27] поділяється на вісім розділів: «Стародавній світ до 1000 р. н. е.», «Світ після 1000 р., загальні карти» (тут йдеться про географічні відкриття, колоніальні імперії, Першу та Другу світові війни), «Європа після 1000 р., загальні карти», «Країни Європи після 1000 р.». У цьому розділі тисячолітня історія кожної країни (Німеччини, Італії, Франції, Англії) розглядається на 5–7 картах. Обрано лише головні події. Натомість Франція представлена 20 картами. П'ятий, шостий і сьомий розділи оглядово презентують історію Азії, Африки і Америки. Восьмий — історію світу після 1990 р. Географічні основи не відпрацьовано, інформацію нанесено схематично, але картографи виділили головне, нехтуючи другорядним. Кольорова гама, продумана

генералізація, оригінальні значки, розмаїття тематики, зручний формат і м'яка обкладинка роблять видання зрозумілим для пересічного користувача.

Британські історичні атласи, що потрапили в поле зору українських історико-картографів, за концепцією тяжіють до французьких — інформація подається схематично, на географічним основам приділено замало уваги (трапляються сучасні водосховища та канали), щільна річкова мережа подається без відбору, однією товщиною, через що складно побачити головні річки.

Багаторазово перевиданий різними мовами великоформатний атлас TIMES («Повна історія Світу») [28], має крім карт та ілюстрацій хронологічні таблиці, пояснювальні тексти, біографічний довідник, покажчики. Видання поділяється на сім розділів: «Походження людини», «Ранні культури», «Перші цивілізації», «Класичні цивілізації Євразії», «Окремі регіони світу», «Становлення Заходу у світі», «Доба домінування Європи», «Доба глобальної цивілізації». Атлас приємно вражає дизайном: карти пропонуються в незвичних проєкціях та компонованні, деякі прикрашені художнім малюнком рельєфу.

«Атлас всесвітньої історії» від Philip's [29] багато в чому схожий на попередній. Оснащений усім необхідним як на таке видання апаратом, він поділяється на розділи: «Стародавній світ», «Середньовічний світ», «Ранній модерний світ», «Доба революцій», «Двадцять століття». Стилістика і зміст близькі до атласу TIMES, але дизайн стриманіший, карти мають більш «класичний» вигляд, ілюстрацій менше, текстового супроводу більше. Але враження псує таке саме нехтування якістю гідрографії та неухвага, чи то непрофесійне ставлення до історії Східної Європи, зокрема України. Поза тим це виправдано комерційною популярністю атласу — він багато разів перевидавався в багатьох країнах, різними мовами, і розрахований на не дуже вибагливого читача.

Сучасна українська школа історичної картографії тяжіє до німецької, з ретельним опрацюванням географічної основи, точним нанесенням об'єктів, докладними легендами та насиченим змістом. Взірцем тут можуть бути два історичні атласи України за авторством Ю. Лози [6–7]. Перший охоплює період від кам'яної доби до XIV ст.: «Найдавніше минуле. Русь (Київська держава, Галицько-Волинська

держава)». Атлас великого формату, поділяється на дві частини: «Залюднення українських земель у найдавніші часи» та «Від перших слов'янських спільнот до ранньоукраїнської держави». Це ґрунтовне видання, оснащене розлогими коментарями та ілюстраціями. Автор карт доклад зусиль до дотримання якості змісту і графіки. Своєю чергою, точна географічна основа вимагала детального тематичного змісту, а відтак мала викликати довіру й до нього.

Ю. Лоза взявся за вирішення питання, яке увінчує історико-картографічну проблематику — реконструкцію давніх кордонів. Раніше точністю історичних кордонів на картах часто нехтували через те, що вони були нечітко встановлені. На відміну від карт середньовічної Німеччини чи Франції, з їхнім складним мереживом феодалських кордонів, межі давньоруських князівств окреслювалися приблизно.

Ю. Лоза провів серйозну наукову роботу з реконструкції давніх кордонів. Дослідник інтегрував концепції попередніх авторів з «прискіпливим прочитанням» ландшафту за великомасштабними топографічними картами. Піднявши планку графічного виконання історичних кордонів, доповнюючи брак інформації науковою інтуїцією, Ю. Лоза вивів історичну картографію України на новий рівень, що стало правилом для інших. Це має й зворотний бік. Увага до дрібниць призводить до ефекту «гіперреальності», зображення стає максимально переконливим і читач вірить, що перед ним «справжня» картина минулого, а не візуальна авторська інтерпретація історичних джерел. Об'єкти навмисно деталізуються, щоб створити переконливу ілюзію реальності. Другий «Історичний атлас України» містить скорочену версію першого атласу і, оглядово, всю подальшу історію України аж до сьогодення.

Відбір тематики карт «Атласу учителя історії» не завжди спирався на навчальну програму і, певною мірою, є суб'єктивним. Але узагальнення досвіду, набутого в шкільній картографії за тридцять років, дозволило авторам запропонувати теми, знайомство з якими стане в пригоді на уроках історії.

Найбільше карт присвячено політичній та військовій історії, адже на думку упорядників сенс історичної картографії полягає у вивченні політичної історії. Помітне місце в атласі відведено й іншим видам карт: археологічним, історико-



Рис. 2. Окремі сторінки з «Атласу учителя історії» [9]

економічним, історико-етнографічним, історії культури тощо. У кожному історичному періоді виокремлено та пріоритетно представлено карти з історії України. Така структура дозволяє проводити паралелі з сюжетами всесвітньої історії. Кожний розділ супроводжується окремою картою світу або континенту, де надається узагальнений огляд епохи.

Перший розділ атласу відкривають археологічні карти, що охоплюють палеоліт, неоліт, енеоліт, бронзовий вік, і виникнення перших цивілізацій. Обмаль відомих історичних подій та, як наслідок, брак інтересу в пересічних користувачів компенсують експериментальні зображувальні засоби у вигляді художніх умовних значків та перспективним малюнком рельєфу (с. 10). Тут варто зазначити, що ілюстрації до карт мають допоміжний характер і поміщені у виданні тільки там, де це необхідно або є наявна можливість. Позаяк існують подібні видання, що через надлишок ілюстрацій перетворені на художні альбоми. Та в атласі все ж головною є карта, щоб-як ілюстрація не підсилювала її виразність (рис. 2).

Важливими з огляду на наочність історичних процесів є карти зростання та занепаду імперій. Перша з таких карт присвячена Ассирії і представлена на с. 12, на ній видно, які землі

завоював кожен з ассирійських царів. Надалі такий підхід до тематичного змісту показано на прикладі Перського царства (с. 15), Римської імперії (с. 28) і далі — аж до Османської (с. 105) і Російської (с. 102–103, 130–131) імперій.

Важливим аспектом змістовного наповнення атласу є увага до адміністративно-територіального устрою країн, починаючи від сатрапій держави Ахеменідів (с. 15), який було подано за різними джерелами: написом на Бехістунській скелі та за списком Геродота; провінцій Римської імперії (с. 28, 30). На картах можна простежити територіальні зміни на українських землях від середньовічних князівств до козацьких полків, коронних країв, імперських намісництв та губерній, і обласного устрою ХХ ст.

Чимало карт в атласі є оригінальними і такими, тематику яких раніше вважали другорядною. Це здебільшого карти кризових періодів історії. Проте вони цікаві й допомагають осмислити різні історичні події. До таких належать: карти Давньої Греції в першій половині IV ст. до н. е. і часів занепаду, а також карта Македонії напередодні римського завоювання (с. 20, 23), адже зазвичай в навчальних та популярних атласах обмежуються класичною Грецією та часами Греко-Перських війн. До згаданих вище оригінальних карт також можна віднести такі

карти: кризи Римської імперії III ст. (с. 29), Латинської та Нікейської імперій (с. 49), деградації Османської імперії (с. 134), світової економічної кризи 1930-х рр. (с. 162–163).

Оригінальними й такими, що не часто трапляються в подібних виданнях, є карти давніх Америки та Африки (с. 65), карта територіальних змін у Латинській Америці XIX–XX ст. (с. 120), карти геополітичних інтересів держав напередодні Першої світової війни (с. 140–141), карти Італії та Німеччини в міжвоєнний період (с. 166–167), карта голокосту в Україні (с. 182, створена за матеріалами О. Круглова) тощо.

У розділі середніх віків, крім історії європейських країн, ширше, ніж зазвичай, показано історію країн Сходу. По-новому висвітлено тему Великих географічних відкриттів: землі та моря, які на середину XVII ст. ще не були відомі цивілізованим народам, затемнені сірим кольором. Складні теми, як от Столітня війна, Тридцятилітня війна, Козацька революція, Перша і Друга світові війни, Корейська війна показані в динаміці, на двох і більше картах. На останніх сторінках атласу — карти сучасного світу (до 2023 р.), з-поміж інших тут можна побачити огляд воєнних конфліктів останніх сімдесяти років, від війни у В'єтнамі, до російсько-української війни.

На відміну од західноєвропейських атласів, у «Атласі учителя історії» відсутні текстова частина і хронологічні таблиці, які в надлишку можна знайти в підручниках і на довідкових ресурсах. Їх компенсують легенди до карт, набагато докладніші за західні аналоги.

## Висновки

Таким чином, прикро визнавати, але доба фундаментальних атласів історичного змісту минає, і на це є об'єктивні причини. Вартість друку, тривалі терміни підготовки до видання, обмежена можливість оперативного реагування на новітні наукові, археологічні дослідження обумовлюють перехід до електронного контенту. Проте, на нашу думку, атласне картографування й надалі залишатиметься затребуваним і перспективним напрямом, а історичні карти відіграватимуть дедалі більшу роль у збереженні та популяризації знань про минуле, поєднуючи географію, історію та сучасність. Історичні атласи — це спосіб побачити, як виглядав світ у минулому, краще зрозуміти сьогодення і відповідальніше дивитися в майбутнє. Їх варто час від часу перевидавати як певного дороговказу задля створення навчальних історичних атласів.

## Новизна дослідження


«Атлас учителя історії» — це перше в Україні видання, де представлено події світової історії на рівні вищому за шкільний. Атлас не лише допоможе освітянам в опануванні історичної науки, а й підсилюватиме роль вчителя, збагатить уроки та зробить історію більш зрозумілою для здобувачів знань. Запропонований формат атласу, на думку упорядників, якнайкраще поєднує його основні задачі: педагогічну, самоосвітню і аналітичну. Тож твориться наочна просторова та часова картина, що часто є яскравішою і зрозумілішою, ніж найкращий текст.

## References [Література]

- Goffart, W. (2003). *Historical Atlases. The First Three Hundred Years, 1570–1870*. University of Chicago Press. 626 p.
- Markova, O. E. (2011). *Historical Cartography. Encyclopedia of Modern Ukraine*. Ed.: I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovsky, M. G. Zheleznyak [et al.]; NAS of Ukraine, National Research School. Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of NAS of Ukraine. [in Ukrainian]. [Маркова О. Є. *Історична картографія. Енциклопедія Сучасної України* / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2011]. URL: <https://esu.com.ua/article-12783>.
- Hrushevsky, M. (1991–1993). *History of Ukraine-Rus: in 11 volumes, 12 books*. Kyiv: Nauk. dumka. Vol. 1–4. [In Ukrainian]. [Грушевський, М. *Історія України-Руси: в 11 т., 12 кн.* К.: Наук. думка, 1991–1993. Т. 1–4.]
- Atlas of Ukraine and Adjacent Regions*. (1937). Edited by V. Kubiyovych. Lviv: Shevchenko Scientific Society; Ukrainian Publishing Institute in Lviv. [In Ukrainian]. [*Атлас України й суміжних країв*. (1937). Під ред. В. Кубійовича. Львів: Наукове товариство ім. Шевченка; Український видавничий інститут у Львові, 1937.]
- Dashkevych Ya. (2000). *Tasks of historical cartography in Ukraine*. In: *Cartography and History of Ukraine: Collection of Scientific Works*. Lviv–Kyiv–New York. P. 13–17 [in Ukrainian]. [Дашкевич Я. (2000). *Завдання історичного картознавства в Україні*. Картографія та історія України: зб. наук. праць. Львів–Київ–Нью-Йорк.: Видавництво М. П. Коць, 2000. С. 13–17].
- Loza Yu. I. (2010). *Historical atlas of Ukraine*. Kyiv: Mapa, 300 p. [In Ukrainian]. [Лоза Ю. І. *Історичний атлас України*. К.: Мапа, 2010. 300 с.]
- Loza, Yu. I. (2010). *Historical Atlas of Ukraine. The Ancient Past. Rus (Kyiv State, Galicia-Volyn State)*. Kyiv: Mapa. [In Ukrainian]. [Лоза Ю. І. *Історичний атлас України. Найдавніше минуле. Русь (Київська держава, Галицько-Волинська держава)*. К.: Мапа, 2010.]

8. Loza Yu. I. (2012). *Territorial structure of Rus-Ukraine (X-XIII centuries)*. Atlas. Kyiv: Mapa. [In Ukrainian]. [Лоза Ю. Територіяльний устрій Русі-України (X-XIII ст.). Атлас. К.: Мапа, 2012.]
9. Isaiev D. V. (2024). *Teacher's Atlas of History*. Kyiv: SSPE "Kartographiia." [in Ukrainian]. [Ісаєв Д. В. Атлас учителя історії. К.: ДНВП «Картографія», 2024. 216 с.]
10. Isaiev D. V. (2012). *Atlas of the History of Ukraine*. Kyiv: SSPE "Kartographiia," 146 p. [In Ukrainian]. [Ісаєв Д. В. Атлас історії України. К.: ДНВП «Картографія», 2012. 146 с.]
11. Isaiev D. V. (2016). *Ukraine. Chronicle of historical events*. Kyiv: SSPE "Kartographiia," 128 p. [In Ukrainian]. [Україна. Хроніка історичних подій. Атлас. Ісаєв Д. В. К.: ДНВП «Картографія», 2016. 128 с.]
12. Hrytseliak, V. (author-comp.). (2013). *The Atlas of the History of Ukrainian statehood: Ukrainian lands from ancient times to the present*. Lviv, 128 p. [In Ukrainian]. [Атлас історії української державності: українські землі від найдавніших часів до сьогодні. Автор-упорядник В. Грицеляк. Львів, 2013. 128 с.]
13. *Terra Ucrainica. Historical Atlas of Ukraine and Neighboring Lands. From the Cimmerians to the Present*. (2018). Vortman D., Gordienko Ya., Mayorov M. Family Leisure Club. Kharkiv, 224 p. [In Ukrainian]. [Terra Ucrainica. Історичний атлас України і сусідніх земель. Від кімерійців до сьогодні. Вортман Д., Гордієнко Я., Майоров М. Клуб сімейного дозвілля. Харків, 2018. 224 с.]
14. *National Atlas of Ukraine* (2007). Kyiv, 440 p. [In Ukrainian]. [Національний атлас України. Київ, 2007. 440 с.]
15. Sossa, R. I. (2007). *History of mapping the territory of Ukraine*. Textbook for university students. 334 p. [In Ukrainian]. [Сосса Р. І. Історія картографування території України. Підручник для студ. ВНЗ. Київ: Либідь, 2007. 334 с.]
16. Sossa, R. I. (2020). The Development of Historical Cartography in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. P. 57–64. [In Ukrainian]. [Сосса Р. І. Розвиток історичної картографії в Україні. Український географічний журнал, 2020. С. 57–64]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.057>.
17. Loza, Yu. I. (2000). *System of school atlases on the history of Ukraine*. Cartography and history of Ukraine: Collection of Scientific Works. Lviv–Kyiv–New York. P. 196–201. [In Ukrainian]. [Лоза Ю. І. Система шкільних атласів з історії України. Картографія та історія України: зб. наук. праць. Львів–Київ–Нью-Йорк.: Видавництво М. П. Коць, 2000. С. 196–201.]
18. Isaiev, D. V. (2012). *Popular Reference Atlas of the History of Ukraine. Concept of Creation. National Mapping: Status, Problems and Development Prospects*: Collection of Scientific Works. Kyiv: SSPE "Kartographiia". Issue 5, 56–58. [In Ukrainian]. [Ісаєв Д. В. Довідковий популярний Атлас історії України. Концепція створення. Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку: зб. наук. праць. К.: ДНВП «Картографія», 2012. Вип. 5., с. 56–58.]
19. Isaiev, D. V. (2014). Atlas of the History of Ukraine as a Modern Form of Research into the Past. *Bulletin of Geodesy and Cartography*. (2), 11–15. [In Ukrainian]. [Ісаєв Д. (2014). Атлас історії України як сучасна форма дослідження минулого. Вісник геодезії та картографії. (2), 11–15.]
20. Ivankov, P. O. (1980). Cooperation of historians and cartographers in the development of scientific and reference historical maps. *Ukrainian Historical Journal*, 8, 85–89. [In Ukrainian]. [Іваньков П. О. Співробітництво істориків і картографів у розробці науково-довідкових історичних карт. Український історичний журнал, 8, 1980. 85–89.]
21. Wigen, Kären, Fumiko, Sugimoto and Karacas, Cary. (2016). *Cartographic Japan: A History in Maps*, Chicago: University of Chicago Press. 336 p.
22. Schilder, G., & Van der Krogt, P. (1988). *Levels of historical evidence in early maps (with examples)*. Miscellanea Cartographica. Leiden, The Netherlands: Brill. P. 109–114. DOI: [https://doi.org/10.1163/9789004616851\\_014](https://doi.org/10.1163/9789004616851_014).
23. Močičková, J., & Bláha, J. D. (2018). The research analytic part of preparation of a cartographic work: A case study of an analysis of historical atlases as the basis for creating the Czech Historical Atlas. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*, 53(1), 58–69. DOI: <https://doi.org/10.14712/23361980.2018.6>.
24. Smolii, V., Stepankov, V. (1999). *Ukrainian National Revolution of the 17th Century (1648–1676). Ukraine through the Ages*: in 15 vols. Kyiv: Alternativy. Vol. 7. 352 p. [In Ukrainian]. [Смолій В. Українська національна революція XVII ст. (1648–1676 рр.). Україна крізь віки: у 15 т. К.: Альтернативи, 1999. Т. 7. 352 с.]
25. Putzger. *Atlas und Chronik zur Weltgeschichte*. (2009). Ackermann M., Betker R., Clauss M. Cornelsen Verlag. 448 p.
26. *Atlante Storico del Mondo*. (1994). Milan. 310 p.
27. *Atlas historique mondial Larousse*. (2001). DUBY G. Paris. 350 p.
28. *Times. Complete history of the World*. (2005). London. 416 p.
29. *Atlas of World history*. (1999). Ed. by Patrick K. O'Brien. London: Philip's. 368 p.

**Стаття надійшла до редакції 17.09.2025 р., прийнята до друку 20.01.2026 р.**

Isaiev, D. V.<sup>1</sup> 0009-0008-8730-4424| Ostroukh, V. I.<sup>2</sup> 0000-0003-4097-1736Lepetiuk, V. B.<sup>1</sup> 0000-0002-2066-4424<sup>1</sup> State Scientific and Production Enterprise "Kartographiia," Kyiv<sup>2</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

## "Teacher's Atlas of History" — a Modern Look at Historical Mapping

UDC 528.9:930.85:912:37.016:930.2:355/359(045)

Atlases supports the educational process, scientific research, and broadens cultural horizons. The creation of thematic atlases, in particular historical ones, is receiving especial attention. They provide an understanding of a certain topic in a spatial and temporal context. They help to see history not only as a chronology of events, but as a living, changing picture of the world. Such atlases form a holistic view of the events of the past, stimulate interest in history and geography. Historical mapping is becoming particularly relevant in Ukraine, in the context of the awakening of national consciousness, the preservation of cultural heritage and collective memory, and the rethinking of historical processes. The purpose of the study is to analyze the general trends in historical mapping using the example of Ukrainian and Western European atlases. A new work is also presented — "Teacher's Atlas of History" — a summary of thirty years of experience in historical mapping at the State Scientific and Production Enterprise "Kartographiia." The connection of Ukrainian historical cartography with the Western European tradition, development trends, and classification of historical maps are considered. In the opinion of the compilers the main task of historical cartography is substantiated — coverage of political and military history. "Teacher's Atlas of History" is the first publication in Ukraine, which presents the events of world history at a level higher than school. The atlas will not only help educators in mastering historical science, but will also strengthen the role of the teacher. In the opinion of the compilers the proposed format of the atlas, best combines its main tasks: pedagogical, self-educational and analytical. Forms of using the atlas are proposed.

**Keywords:** *atlas mapping; historical mapping; historical map; classification of historical maps; teacher's atlas of history.*

### For citation:

Isaiev, D. V., Lepetiuk, V. B., & Ostroukh, V. I. (2026). "Teacher's Atlas of History" — a Modern Look at Historical Mapping. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 66–74. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.066>

Copyright © 2026 Publishing House *Akademperryodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.075>

Ровенчак І. І.  
Біланюк В. І.

0000-0002-1286-4581  
 0000-0003-4472-8637

Котик Л. І.  
Гудзеляк І. І.

0000-0001-5046-2287  
 0000-0003-0890-5085

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

## Львівські наукові географічні школи: від витоків і становлення до інституціалізації

УДК 911.9(091):94(477.83-25)(045)

Проблематика дослідження наукових шкіл посідає важливе місце в історії географічної науки. Визначено, що у Львівському університеті формування наукових географічних шкіл відбулося у другій половині ХХ ст. Проаналізовано напрацювання вчених з дослідження функціонування наукових географічних шкіл у світі та Україні. Розкрито витoki становлення та особливості початкових етапів функціонування наукових географічних шкіл Львівського університету: картографічної; комплексної територіальної організації суспільства; регіональної, екологічної та інженерної геоморфології; генетичного ґрунтознавства; ландшафтних досліджень. Обґрунтовано, що Львівські наукові географічні школи є галузевими. Узагальнено роль лідерів-засновників (П. Ващенко, К. Геренчук, П. Цись, С. Позняк) у становленні та розвитку наукових географічних шкіл, означено лідерів-послідовників, проаналізовано головні напрацювання шкіл через видання монографій, проведення наукових конференцій.

**Ключові слова:** географічна наукова школа, Львівський університет, географія, Україна, картографічна наукова школа, галузеві географічні наукові школи, географічні наукові напрями.

### Актуальність теми дослідження

Серед загальнонаукових напрямів історії географічної науки провідне місце належить проблематиці наукових шкіл (НШ). Саме з НШ в географії зазвичай пов'язані найвидатніші досягнення. Дослідження стану та перспектив розвитку української географічної науки спрямовує дослідників до галузі історії науки. Вивчення наукових співтовариств в українській географії не має тривалої традиції. Наукове співтовариство є складно організованою системою, всередині якої можна

виділяти безліч елементів, серед яких чільне місце належить НШ. Найґрунтовніші праці з характеристики НШ розроблені у теорії та методиці наукознавства. В українській радянській географії, починаючи від середини ХХ ст., відповідно до ідеологічних настанов, головне місце належить колективному характеру дослідницької діяльності, що унеможливило виділення НШ [1]. Сьогодні існує велика потреба у дослідженні НШ в географії, що пов'язано зі специфікою географічної науки, яка досліджує складні об'єкти,

### Цитування:

Ровенчак І. І., Біланюк В. І., Котик Л. І., Гудзеляк І. І. (2026). Львівські наукові географічні школи: від витоків і становлення до інституціалізації. *Український географічний журнал*. 1, 75–85. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.075>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

що вимагають спільних дій численних науковців, об'єднаних спільністю наукових підходів до розв'язання проблем сьогодення.

### Стан вивчення питання, основні праці

У географії проблема функціонування НШ досліджується у контексті історії розвитку наукових географічних ідей. Наприклад, аналіз становлення і трансформації наукових ідей середини ХХ ст. з погляду діяльності наукових лідерів та функціонування англо-американської суспільно-географічної науки здійснили R. Johnston, J. Sidaway (1979 р.). Взаємодію між географічними дослідженнями, домінуючими географічними ідеями та різними філософськими школами (позитивізм, прагматизм, функціоналізм, екзистенціалізм тощо) узагальнили M. Harvey, B. Holly (1981 р.). Сучасні наукові ідеї й дисциплінарні тренди в географії США та Франції, роль учених-лідерів у їхньому розвитку проаналізував J. Jiwan (2018 р.), Німеччини — T. Bansal (2018 р.). Сучасні дослідження НШ нової економічної географії, урбанізму та еволюційної й інституційної географії, аналіз спільностей та розбіжностей їхньої методології виконав P. McCann (2021 р.). Критичний аналіз наукової географічної думки з позиції домінуючих парадигм і напрацювань учених і НШ, що їх розвивають, виконав T. Cresswell (2024 р.).

В Україні теоретичні засади функціонування НШ обґрунтовані у працях Д. Зербіно, Т. Надвиничної, В. Ткаченко, А. Фурмана, Ю. Храмова та ін. В українській географії проблематика функціонування НШ переважно розкривається у розрізі історії розвитку географічної науки загалом чи історії української географічної науки зокрема: напрацювання М. Влаха, Я. Жупанського, О. Заставецької, Ю. Кандиби, Ю. Кисельова, І. Ковальчука, Н. Коцан, Р. Лозинського, А. Молочка, В. Нагірної, Л. Немець, Я. Олійника, М. Пістуна, І. Ровенчака, В. Руденка, Л. Руденка, Р. Сосси, О. Топчієва, О. Шаблія, В. Шевченка, С. Шевчука, П. Штойка та інших учених.

Всеосяжною стала праця науковців Я. Олійника та С. Шевчука, присвячена дослідженню українських суспільно-географічних НШ, їхньої ієрархічної структури із системоформуючими елементами лідера та дослідницької програми, механізмів їхнього функціонування в географії [2].

Проблеми становлення та розвитку Львівських географічних НШ через поступ окремих

НШ чи формування нових напрямів дослідження, аналіз діяльності вчених-лідерів, функціонування кафедр і науково-дослідницьких осередків, упровадження наукових напрацювань в освітній процес досліджували: М. Андріанов, Г. Байрак, В. Біланюк, М. Білецький, О. Бонішко, В. Брусак, О. Буряник, П. Ващенко, О. Вісьтак, М. Влаха, К. Геренчук, П. Горішний, З. Гостюк, І. Гудзеляк, Г. Денисик, Л. Дубіс, Г. Зільбер, Є. Іванов, М. Карабінюк, М. Кіт, П. Климович, І. Ковальчук, Л. Костів, Л. Котик, Я. Кравчук, С. Кукурудза, Р. Лозинський, В. Луговий, М. Мальська, Я. Мариняк, А. Мельник, Г. Міллер, С. Міхелі, Б. Муха, І. Пандяк, З. Паньків, І. Папіш, В. Петлін, С. Позняк, О. Томенюк, О. Федірко, П. Цись, О. Шаблій та ін. У «Encyclopedia. Львівський національний університет імені Івана Франка» (2011, 2014 р.) [3] подано серію статей, які розкривають наукову діяльність НШ, кафедр, науково-дослідних лабораторій, провідних науковців географічного факультету.

Прикро констатувати, але переважна більшість наведених наукових публікацій, будучи ґрунтовними за змістом дослідження, мають вузькогалузевий чи персоналізований підхід, а тому не розкривають загальний контекст виникнення і становлення географічних НШ Львівського університету, їхні науково-організаційну єдність і співдіяльність.

Отже, **метою** цієї статті є: проаналізувати витоки постання та формування НШ на географічному факультеті Львівського університету, знаковість і вагомість їхньої інституціоналізації на національному рівні, пасіонарність наукових лідерів-засновників.

### Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

Поняття НШ охоплює висвітлення її особливостей та відмінностей від інших шкіл. НШ — це система оригінальних наукових ідей та їхніх утілень у наукових принципах, концепціях і теоріях, а також у конструктивних розробках групою (колективом, лабораторією, науковим інститутом тощо) вчених, переважно односторонніх, на чолі з відомою особистістю. Ці риси властиві львівським НШ географії та географічному факультету Університету, який став науковим ядром шкіл.

Проблематика НШ недостатньо представлена в українській географічній науці. Є різні під-

ходи до класифікації сучасних досліджень НШ. Один з них — поділ досліджень на галузеві та студіювання персоналістичних НШ в українській географії. Прикладом першого підходу є природничо-географічні та суспільно-географічні НШ. У першому підході вирізняються, наприклад, ландшафтознавчо-географічні школи. Перед розглядом галузевих і персоналістичних НШ проаналізуємо розвиток української картографічної школи.

### *Картографічна школа*

До жодної з галузевих НШ вона не належить, а має загальногеографічно-міждисциплінарний та інтегративний характер. Високопрофесійна географічна підготовка картографів, завдяки яким згодом утворилася українська картографічна НШ, спричинила географічну орієнтацію досліджень, що є визначальною ознакою саме цієї школи [5]. Проблематику досліджень виникнення та розвитку української картографічної НШ вивчали Л. Руденко, Г. Пархоменко, Т. Козаченко та ін. [5], А. Молочко, В. Шевченко [6], Р. Сосса [7].

Хронологічно першим у повоєнний час соціально-економічний напрям картографування розвивається на географічному факультеті Львівського державного університету імені Івана Франка у др. пол. 1940-х рр. Засновник напрямку — д. геогр. н. П. Ващенко. Розвиток напрямку продовжували і продовжують д. геогр. н. О. Шаблій, І. Ровенчак та ін. Формування картографічної школи у Києві пов'язане у 1960-х рр. з двома осередками — університетським та академічним. Університетський осередок очолював проф. А. Харченко, завідувач кафедри геодезії і картографії у 1954–1980 рр. [6]. У 1964 р. в Академії наук (завідувач відділу картографії 1979–1986 рр. д. геогр. н. А. Золовський) спільно з Київським університетом імені Тараса Шевченка організовано Лабораторію комплексного картографування, на чолі якої стала відома картограф М. Корольова. Лабораторією видано «Атлас природних умов и естественных ресурсов Украинской ССР» (1978 р.), який вважався першим томом Національного атласу України. Згодом лабораторія стала відділом картографії Інституту географії НАН України. Саме в цей період (1964–1978 рр.) створюються організаційні та науково-методичні засади формування української НШ картографії, ста-

новлення якої припадає на період 1980–1990 рр. (лідер — д. геогр. н. Л. Руденко) [7, с. 116]. Науково-методичний осередок з тематичного картографування утворився у Харкові (др. пол. ХХ — початок ХХІ ст.): у 1956 р. кафедру фізичної географії перетворено на кафедру загальної фізичної географії та картографії (завідувач кафедри д. геогр. н. І. Левицький, після нього — його учениця д. геогр. н. В. Пересадько). Кафедрою проведено впродовж 1993–2024 рр. 30 міжнародних науково-методичних і картографічних семінарів. Четвертий осередок (університетський) сформувався у Чернівцях. Його очолював д. геогр. н. Я. Жупанський.

Крім чотирьох сформованих осередків картографічної НШ, три перебувають у стадії формування: Луцький (Волинський національний університет імені Лесі Українки, Ф. Зюзук); Дніпровський (Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Л. Зеленська); Кримський (Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського).

Найвагомішим досягненням картографічної НШ України є видання 2007 р. «Національного атласу України» (головний редактор — д. геогр. н., акад. НАН України Л. Руденко). Атлас розроблено в Інституті географії НАН України, відділ картографії якого д. геогр. н. Р. Сосса вважає «головним виразником ідей національної НШ картографії» [7, с. 129]. Академічна картографічна школа відіграє визначальну роль у підготовці українських науковців-картографів, які працюють в різних установах.

Щодо досліджень галузевих НШ, то однією з перших є праця О. Шаблія «Львівська суспільно-географічна школа» [4], де автор вирізняє три періоди функціонування НШ. Узагальнювальний характер має праця С. Шевчука з проблематики вивчення НШ в українській суспільній географії [8].

Прикладом другого (персоналістичного) підходу є дослідження О. Яроменко НШ акад. М. Паламарчука; І. Ровенчаком досліджено НШ українського географа і картографа В. Кубійовича.

Існують різні погляди щодо класифікації львівських НШ географії. Зважаючи на історичний досвід розвитку географії у Львівському університеті, в статті застосовано інституціоналізований підхід [3, Т. II, с. 188–190], за яким визначено чотири львівські НШ географії:



**Панас Ващенко**  
(1908–1984)



**Олег Шаблій**  
(1935–2023)

комплексної територіальної організації суспільства; регіональної, екологічної та інженерної геоморфології; ландшафтних досліджень; генетичного ґрунтознавства.

#### *Наукова школа комплексної територіальної організації суспільства*

Ядром львівської НШ комплексної територіальної організації суспільства (КТОС) є кафедра економічної і соціальної географії імені професора Олега Шаблія (у 1990–2023 рр. — економічної і соціальної географії, до 1990 р. — економічної географії). Зародження НШ припадає на кін. 1940-х рр. Лідером НШ був її засновник, д. геогр. н. **Панас Ващенко**, який завідував кафедрою економічної географії (1945–1984 рр.) і здійснював дослідження у таких напрямках: теорія і методологія комплексної територіальної організації виробництва, розміщення галузей і міжгалузевих комплексів Західного регіону України (*рис. 3*), географія населення і поселень цього регіону, комплексне атласне картографування та ін. [*4*].

Після П. Ващенка лідером НШ КТОС став (1984–2023 рр.) д. геогр. н. **Олег Шаблій**, який у 1990–2022 рр. завідував кафедрою економічної і соціальної географії. Наукову діяльність провадив у таких напрямках: теорія і методологія географічної науки, математичні методи суспільно-географічних досліджень, історія українського землезнання, атласне картографування та ін.

У НШ підготовано понад 20 докторів та майже 80 кандидатів наук у галузі економічної і соціальної географії, частково — розміщення продуктивних сил та економіки районів [*9, с. 27–28*]. Сьогодні НШ охоплює суспіль-

но-географічні навчальні та науково-дослідні установи і підрозділи закладів вищої освіти й академічних установ Західного регіону України. Крім кафедри економічної і соціальної географії, це також кафедра географії України (д. геогр. н. М. Дністрянський, Р. Лозинський); факультет міжнародних відносин (д. геогр. н. С. Писаренко, д. екон. н. М. Мальський); Інститут регіональних досліджень НАН України (д. екон. н. В. Кравців, М. Максимчук, Л. Шевчук, С. Шульц); Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка (д. геогр. н. Л. Заставецька), Уманський національний університет (д. геогр. н. Ю. Кисельов), Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського (д. екон. н. А. Голод), Університет Марії Кюрі-Склодовської (м. Любін, Польща; д. габ. В. Пантилей).

У межах НШ КТОС розвиваються такі наукові напрями: теорія, методологія, методика суспільної географії; картографічне моделювання; вивчення геопросторової організації виробничої галузі та сфери послуг у контексті ринкової трансформації українського суспільства і географічного положення Західного регіону України; дослідження депресивних регіонів; вивчення природного, демографічного, виробничого та інтелектуального потенціалу Західного регіону України, політико-географічної організації регіону та політичної активності населення; військова географія; суспільно-географічне крає- та країнознавство; геоглобалістика (світознавство); географія культури; географія населення та ін.

Головні напрацювання НШ КТОС: теорія комплексного і збалансованого територіального розвитку (П. Ващенко, Ф. Заставний, О. Шаблій);

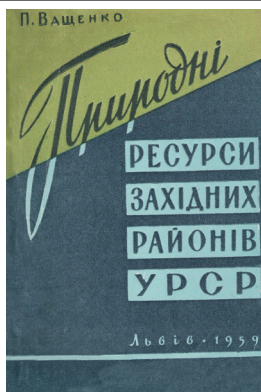


Рис. 3. Панас Ващенко  
«Природні ресурси Західних районів УРСР», 1959 р.



Рис. 4. Федір Заставний  
«Географія України», 1994 р.

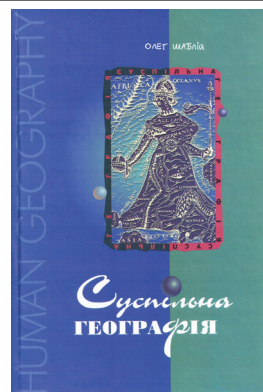


Рис. 5. Олег Шаблій  
«Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії», 2001 р.

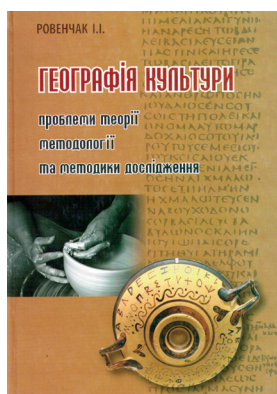


Рис. 6. Іван Ровенчак  
«Географія культури: проблеми теорії, методології та методики дослідження», 2008 р.



Рис. 7. «Львів. Комплексний атлас», 2012 р.



Рис. 8. Олег Шаблій  
«Суспільна географія» в 6 томах, 2015-2022 р.

система законів і закономірностей геопросторової організації суспільства (О. Шаблій); низка підручників і навчальних посібників з грифом Міносвіти України, деякі з них перекладені іноземними мовами (д. геогр. н. Ф. Заставний (рис. 4), О. Шаблій, Л. Шевчук); серія навчально-довідкових атласів обласних регіонів (О. Шаблій, І. Ровенчак). 2012 р. вийшов друком «Львів. Комплексний атлас» (відп. ред. О. Шаблій) (рис. 7), у 2013 р. і 2025 р. «Атлас історії української державності» (спів. гол. редкол. І. Ровенчак). О. Шаблій взяв участь у підготовці «Національного атласу України» (2007 р.), підготував новаторські монографічні дослідження «Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії» (2001 р.) (рис. 5), «Суспільна географія» у шести томах (2015–2022 рр.) (рис. 8), започаткував (2001 р.) і був автором-упорядником серії наукових видань «Постаті українського землезнання», де вийшло 14 книг. І. Ровенчак у 2008 р. опублікував піонерну монографію

«Географія культури: проблеми теорії, методології та методики дослідження» (рис. 6).

Вчені школи є науковими консультантами, беруть участь у розробленні проектів і схем районних розпланувань, генеральних планів великих і середніх міст, просторового розвитку територіальних громад.

#### Наукова школа регіональної, екологічної та інженерної геоморфології

Засновником (на початку 1950-х рр., географічної НШ регіональної, екологічної та інженерної геоморфології (РЕІГ) був д. геогр. н. Петро Цись — лідер школи у 1950–1971 рр. У 1947–1950 рр. учений завідував кафедрою регіональної фізичної географії, а у 1950–1971 рр. — геоморфології (від 2000 р. кафедра геоморфології і палеогеографії). П. Цись розпочав комплексні регіональні геоморфологічні дослідження Українських Карпат, Поділля і Полісся (рис. 11) [9, с. 28–29].



Петро Цись  
(1914–1971)



Ярослав Кравчук  
(1937–2023)

Поглибили регіональні геоморфологічні дослідження вченого його учні, зокрема проф. **Ярослав Кравчук**. Він завідував кафедрою геоморфології у 1976–1987 та у 2000–2021 рр. Від 2021 р. завідувач кафедри — д. геогр. н. Л. Дубіс. З ініціативи вченого запроваджено серію монографічних видань «Рельєф України» (*рис. 12*) та науковий періодичний збірник праць «Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат та прилеглих територій» (2017), що став фаховим виданням України (категорія Б) (*рис. 13*).

У 1980–1990-х рр. у межах НШ сформувався екологічний напрям. Його започатковано і розвинуто д. геогр. н. **Іваном Ковальчуком**, який завідував кафедрою геоморфології у 1987–1990 рр. Вчений уперше розробив теоретико-методологічні засади еколого-геоморфологічних досліджень, які стали основою для подальших наукових праць цього напрямку.

Дослідження науковців НШ РЕІГ мають як фундаментальний, так і прикладний характер. Вони спрямовані на вивчення та оцінку рельєфу різного генезису, процесів рельєфоутворення, їхнього впливу на геоекологічний стан довкілля, обґрунтування системи заходів щодо збереження та охорони пам'яток неживої природи, розроблення проектів організації та функціонування національних природних парків і природних заповідників, а також створення мережі геопарків в Україні.

Від 1990 р. при НШ діє науково-дослідна лабораторія інженерно-геоморфологічних досліджень (від 2000 р. — лабораторія інженерно-географічних, природоохоронних і туристичних досліджень, НДЛ-51), де виконують держбюджетні і госпдоговірні науково-дослідні роботи за головними напрямками роботи школи (завідувач — доц. В. Брусак) [*3, Т. 1, с. 553*].

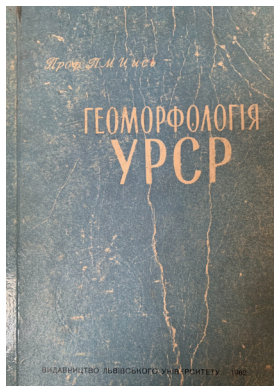


Рис. 11. Петро Цись  
«Геоморфологія УРСР»,  
1962 р.

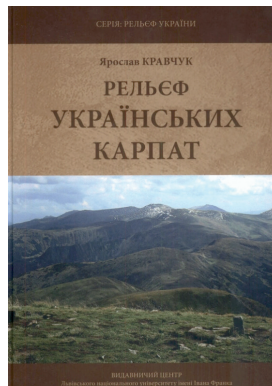


Рис. 12. Ярослав Кравчук  
«Рельєф Українських Карпат»,  
2021 р.



Рис. 13. «Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій»,  
Вип. 1 (18), 2025 р.



Каленик Геренчук  
(1904–1984)



Гаврило Міллер  
(1934–1994)



Анатолій Мельник  
(1957–2020)

У межах школи сформувався науковий напрям палеогеографії плейстоцену, заснований проф. А. Богуцьким, досягнення якого визнано на міжнародному рівні. Напрямами досліджень у галузі палеогеографії плейстоцену є комплексне вивчення лесового покриву України, гляціальних і перигляціальних утворень, стратиграфічне розчленування плейстоцену та кореляція процесів давніх епох рельєфоутворення. Нині активно розвиваються дослідження палеокріогенних процесів та інженерно-геоморфологічних властивостей лесових порід.

Протягом існування НШ підготовано трьох докторів і двадцять дев'ять кандидатів наук.

#### Наукова школа ландшафтних досліджень

Наукову школу ландшафтних досліджень засновано в сер. 50-х рр. ХХ ст. Біля її витоків стояв д. геогр. н. **Каленик Геренчук**. Саме він першим у Львові почав публікувати статті з теорії ландшафтознавства, яке тоді оформлювалося в самостійний розділ фізичної географії [10]. Він був лідером школи у 1954–1984 рр. У цей же період вчений завідував кафедрою фізичної географії (від 2022 р. — кафедра геоєкології та фізичної географії). Вчені школи досліджували природно-територіальні комплекси (ПТК) — новітній міждисциплінарний науковий напрям, який тоді швидко розвивався. К. Геренчук та колеги основну увагу приділяли морфології та генезису ПТК, наголошуючи на геоморфологічних особливостях, методиці польового картування, а також прикладній оцінці та раціональному використанні ландшафту. Вони публікували свої дослідження (рис. 17) не лише у львівських періодичних виданнях, але й у тоді «центральных» журналах і збірниках. Деякі статті К. Геренчука

перевидані в американському журналі “Soviet Geography.” Так сформувалися перша генерація львівської НШ ландшафтних досліджень та один з провідних центрів «советських» ландшафтних студій як національний лідер у цій галузі [9, с. 29-32].

Послідовником учення про ПТК як ландшафт був д. геогр. н. **Гаврило Міллер**. Він став лідером львівської НШ ландшафтних досліджень у середині 1980-х рр. У 1974–1994 рр. вчений завідував кафедрою фізичної географії. Г. Міллер зосередився на дослідженні гірських ландшафтів Карпат, особливо Чорногірського масиву. Він розробив деталізовану методику польового знімання ПТК, доповнив уявлення про ієрархічність морфології гірського ландшафту, запропонував концепцію його пульсаційного розвитку. Разом з доц. О. Федірком Г. Міллер подав нову схему ландшафтної регіоналізації Українських Карпат на основі структурно-літологічних зон. У 1978 р. Г. Міллер започаткував Чорногірський географічний стаціонар у верхів'ї р. Прут у Карпатах, де розпочалися дослідження з функціонування ландшафтних комплексів, а також навчальні практики. У 1999 р. докторську дисертацію захистив В. Петлін. Так сформувалася друга генерація львівської НШ ландшафтних досліджень.

Важливим є внесок у розвиток львівської НШ ландшафтознавства доц. Б. Мухи. Він завідував кафедрою фізичної географії у 1994–2001 рр. Вчений був ентузіастом стаціонарних і напівстаціонарних інструментальних вимірювань фізичних властивостей ландшафтних комплексів, організатором та багаторічним науковим керівником Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару.



Рис. 17. Каленик Геренчук  
«Основні проблеми фізичної географії»,  
1969 р.



Рис. 18. Анатолій Мельник, Гаврило Міллер  
«Ландшафтний моніторинг»,  
1993 р.



Рис. 19. Іван Круглов  
«Трансдисциплінарна геоєкологія»,  
2020 р.

Учнем і послідовником Г. Міллера був д. геогр. н. **Анатолій Мельник**. Він завідував кафедрою фізичної географії у 2001–2020 рр. До кола його наукових інтересів входили: теорія, методика та прикладні питання з дослідження ПТК, зокрема географічного моніторингу та екологічної географії (рис. 18). А. Мельник головно досліджував Українські Карпати, зосібна деталізував ландшафтну регіоналізацію Міллера-Федірка, приділяв увагу розвитку моніторингу ландшафтних комплексів на Чорногірському географічному стаціонарі.

Після відновлення незалежності України розпочалася інтернаціоналізація львівської НШ ландшафтних досліджень, тематика та методологія досліджень стала складнішою та різноманітнішою — «традиційне» вивчення ПТК доповнили дослідженнями ландшафту як суспільно-природної системи з використанням методів біоекології, соціоекології та економічної географії, почали широко застосовувати технології геоінформатики та цифрової геотеледтекції, більше уваги приділяти динаміці ландшафту. Львівську НШ ландшафтних досліджень сер. 1950–2020-х рр. можна узагальнено назвати НШ Геренчука-Міллера-Мельника.

У 2021 р. І. Круглов захистив докторську дисертацію. Він акцентує на прикладному міждисциплінарному дослідженні ландшафту як динамічної суспільно-біофізичної системи, поєднанні геопросторового та екологічного підходів на основі технології геоматики (рис. 19).

### Наукова школа генетичного ґрунтознавства

НШ генетичного ґрунтознавства почала формуватися у середині 1990-х рр. Засновник НШ — д. геогр. н. **Степан Позняк**. Він створив у 1993 р. кафедру географії ґрунтів (від 2002 р. — кафедра ґрунтознавства і географії ґрунтів), яку очолював до 2020 р. Попередником кафедри можна вважати потужну наукову-дослідну лабораторію НДЛ-50 «Ґрунтово-меліоративних досліджень», відкриту 1961 р. Наукове кураторство над нею належало кафедрі фізичної географії. Функціональна автономність виявлялась у наявності трьох самостійних спеціалізованих відділів: ґрунтознавчого, картографічного і лабораторно-аналітичного [11, с. 159–163]. У 2000 р. лабораторію було розформовано [3, Т. I, с. 416]. Зараз на кафедрі та поза нею працюють та працювали представники школи: д. геогр. н. З. Паньків (завідувач кафедри від 2020 р.); З. Гамкало; В. Гаськевич; А. Кирильчук; І. Папіш; Т. Ямелинець; А. Кривульченко (Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка); В. Михайлюк (Одеський державний аграрний університет) [9, с. 32].

Основні напрями діяльності НШ пов'язані з розробленням теоретичних і прикладних основ генези: географії, класифікації та екології ґрунтів, фундаментальних питань екологічної ролі ґрунту в біосфері, збалансованого використання та охорони ґрунтів, узгодження класифікаційно-діагностичних ознак і параметрів ґрунтів з європейською і міжнародною класифікаціями. Науково-практичні розробки орієнтовані на екологічно безпечне використання



Степан Позняк  
(1943–2024)

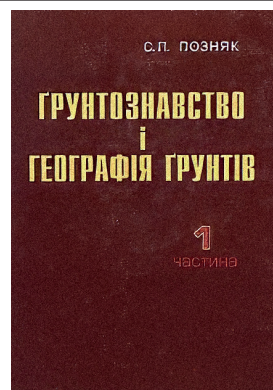


Рис. 21. Степан Позняк  
«Грунтознавство  
і географія ґрунтів» у 2-х  
частинах, 2010 р.

ґрунтового-ресурсного потенціалу, визначення параметрів екологічної стійкості ґрунтів, пошуки шляхів біологізації агроєкосистем і ландшафтів, планування протидеградаційних заходів в агро-системах, удосконалення розміщення сільсько-господарського виробництва з урахуванням сучасного стану земельних ресурсів. Нові напрями дослідження НШ: ґрунти Передкарпаття (д. геогр. н. З. Паньків); чорноземи Західноукраїнського краю (д. геогр. н. І. Папіш); ґрунти Західного регіону України (д. геогр. н. В. Гаскевич); морфолітогенез (д. геогр. н. А. Кирильчук); інформаційне ґрунтознавство (д. геогр. н. Т. Ямелинець).

У 2003 р. при НШ організовано НДЛ-52 ґрунтознавства і екології землекористування [3, Т. I, с. 417], 2022 р. створено навчально-наукову лабораторію аналізу ґрунтів і природних вод. Лабораторія сертифікована на відповідність системи керування вимірюваннями ДП «Львівський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації».

Проведено низку міжнародних наукових конференцій і видано збірники наукових праць «Гене́за, географія і екологія ґрунтів»; започатковано (1998 р.) наукову серію видань «ґрунти України», у межах якої опубліковано понад 30 одноосібних і колективних монографій; науковою розвідкою «Професор Іван Гоголев» (2009 р.) започатковано серію видань «Українські ґрунтознавці». У цій НШ підготовано вісім докторів наук, сорок сім кандидатів наук і докторів філософії. НШ генетичного ґрунтознавства бере участь у вирішенні проблем охорони ґрунтів і розв'язанні глобальних проблем зем-

лекористування та продовольчої безпеки. Представниками школи укладено «Цифрову ґрунтову карту України» (2014 р.).

Крім чотирьох НШ, на рівні Львівського університету інституціоналізовано розвиток [3] чотирьох наукових напрямів: географічного українознавства; географії та менеджменту туризму, конструктивно-географічних і соціоекологічних досліджень.

Ядром напрямку *географічного українознавства* є кафедра географії України. Засновник напрямку — д. геогр. н. Ф. Заставний (1929–2012), автор фундаментального навчального посібника у двох книгах «Географія України» (1994 р.) (рис. 4). Зараз напрям розвивають д. геогр. н. М. Дністрянський і Р. Лозинський та інші вчені. Провідними напрямками наукової діяльності є: географія населення і географія поселень України; етногеографія України; політична географія і геополітика України; історична географія України; фізична географія Українських Карпат і Криму; комплексні регіональні географічні дослідження; географічне краєзнавство; урбаністика; географічна освіта.

Науковий напрям *географії й менеджменту туризму* під керівництвом д. екон. н., завідувача кафедри туризму М. Мальської досліджує актуальні проблеми управління та територіальної організації туристичної й рекреаційної галузі Західного регіону України та сфери гостинності; функціонування туристичної діяльності та міжнародного туризму на глобальному рівні; планування геотуристичних і геологістичних потоків; вивчення активного й паломницького туризму та ін.

Д. геогр. н. Є. Іванов працює за науковим напрямом *конструктивно-географічних досліджень*, який охоплює вивчення постмайнінгових територій, гідроекологічних проблем, упровадження геоінформаційних технологій захисту навколишнього середовища. Вчений розвиває діяльність кафедри конструктивної географії та картографії та окремих наукових напрям трансформації природно-господарських систем гірничопромислових територій. Науковий напрям *соціоecологічних досліджень* поглиблюється учнями д. геогр. н. М. Назарука.

### Висновки

Львівські географічні НШ, сформовані в другій пол. ХХ ст., характеризуються значними науковими теоретичними напрацюваннями й прикладними здобутками, високою культурою

наукової діяльності, активною співпрацею в національному та міжнародному науковому просторі. Вони є не лише науковим, але й українським культурно-освітнім феноменом та національним інтелектуальним надбанням. Подальших досліджень потребують такі проблеми: трансформація змісту й методики наукових досліджень Львівських географічних НШ у ХХІ ст.; збереження єдності НШ та дослідження феномена лідерів-засновників і лідерів — продовжувачів наукових традицій; становлення нових теоретичних і прикладних наукових напрямів географічного спрямування у Львівському університеті; комерціалізація здобутків НШ і напрямів; імплементація здобутків НШ й напрямів до освітнього процесу, в публічну географію, до прикладного просторового, повного розвитку територій України.



### References [Література]

1. Shevchuk, S. (2013). *Problems of studying scientific schools in ukrainian Human Geography. Geographical science and practice: challenges of the era*. Materials of the international scientific conference dedicated to the 130th anniversary of geography at Lviv University. Lviv, 1, 177–181. [In Ukrainian]. [Шевчук С. *Проблеми вивчення наукових шкіл в українській суспільній географії*. Матеріали міжнародної наукової конференції, присвяченої 130-річчю географії у Львівському університеті. 2013. Т. 1. С. 177–181.].
2. Oliinyk, Ya., & Shevchuk, S. (2013). Scientific Schools as a Subject of Research in the History of Geography. *History of Ukrainian geography*, 27, 23–32. [In Ukrainian]. [Олійник Я., Шевчук С. Наукові школи як об'єкт дослідження в історії географії. *Історія української географії*. 2013. Вип. 27. С. 23–32.].
3. *Encyclopedia*. Ivan Franko National University of Lviv. In 2 vol. Lviv: LNU. I. 2011, 716., II. 2014, 764. [In Ukrainian]. [Encyclopedia. Львівський національний університет імені Івана Франка. У 2-х т. Львів: ЛНУ. Т. I. 2011. 716 с., Т. II. 2014. 764 с.].
4. Shablii, O. (2004). *Lviv School of Human Geography (on the 60th anniversary of the Department of Economic and Social Geography at Ivan Franko National University of Lviv)*. Lviv: LNU, 168. ISBN 966-613-353-9. [In Ukrainian]. [Шаблій О. *Львівська суспільно-географічна школа (до 60-річчя кафедри економічної і соціальної географії Львівського національного університету імені Івана Франка)*. Львів: ЛНУ, 2004. 168 с.].
5. Rudenko, L., Parkhomenko, H., Kozachenko, T., Razov, V., Bochkovska, A. (1995). *The Modern Scientific Cartographic School in Ukraine. The History of Ukrainian Geography and Cartography*. Materials from the scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Professor Volodymyr Kubiyovych. Ternopil, 231–235. [In Ukrainian]. [Руденко Л., Пархоменко Г., Козаченко Т., Разов В., Бочковська А. Сучасна наукова картографічна школа в Україні. Історія української географії і картографії. Матеріали наукової конференції, присвяченої 95-річчю від дня народження професора Володимира Кубійовича. Тернопіль, 1995. С. 231–235.].
6. Molochko, A. M., Shevchenko, V. O. (1999). *Taras Shevchenko University of Kyiv as a Center for the Formation of a National Scientific Cartographic School*. Cartography and higher education : collection of scientific works. Kyiv, 3, 5–16. [In Ukrainian]. [Молочко А. М., Шевченко В. О. *Київський університет Тараса Шевченка як осередок формування національної наукової картографічної школи*. Картографія та вища школа : зб. наук. праць. Київ, 1999. Вип. 3. С. 5–16.].
7. Sossa, R. (2005). *Formation of the Ukrainian Scientific Cartographic School*. Materials from the international scientific seminar “The Lviv School of Human Geography in National and European Dimensions” (marking the 60th anniversary of the Department of Economic and Social Geography at Ivan Franko National University of Lviv). Lviv, 115–132. [In Ukrainian]. [Сосса Р. *Формування української наукової картографічної школи*. Матер. міжнар. наук. сем. «Львівська суспільно-географічна школа у національному та європейському вимірах» до 60-річчя кафедри економічної і соціальної географії Львівського національного університету імені Івана Франка). Львів, 2005. С. 115–132].
8. Shevchuk, S. M. (2017). *Human Geography in Ukraine (Theory and Practice of Research by Scientific Schools)*. Abstract of Dissertation ... Doctor of Geography. Kyiv, 40. [In Ukrainian]. [Шевчук С. М. *Суспільна географія в Україні (теорія та практика дослідження наукових шкіл)*. Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Київ, 2017. 40 с.].
9. V. Bilanyuk, Ye. Ivanov (Ed.)(2023). *Geography Department: 140th Anniversary of Geography at Lviv University: 140th Anniversary of Geography at Lviv University*. Lviv, 122. [In Ukrainian]. [Географічний факультет: до 140-річчя географії у Львівському університеті. За ред. В. Біланюк, Є. Іванов. Львів, 2023. 122 с.].



10. Melnyk, A., Mukha, B., Fedirko, O. (2003). *Lviv School of Landscape Studies. Contemporary problems and trends in the development of geographical science*. Materials from the International Conference marking the 100th anniversary of geography at Lviv University. Lviv, 28–32. [In Ukrainian]. [Мельник А., Муха Б., Федірко О. *Львівська школа ландшафтознавства. Сучасні проблеми і тенденції розвитку географічної науки*. Матер. Міжнар. конф. до 120-річчя географії у Львівському університеті. Львів, 2003. С. 28–32].
11. Papish, I. (2023). *Institutionalisation of soil science in the geographical science of Lviv University. Geographical education and science: challenges and progress*. Materials from the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 140th anniversary of geography at Lviv University. Lviv, 3, 153–163. [In Ukrainian]. [Папіш І. *Інституціоналізація ґрунтознавства у географічній науці Львівського університету. Географічна освіта і наука: виклики і поступ*. Матер. Міжнар. наук.-практ. Конф., присвяч. 140-річчю географії у Львівському університеті. Львів, 2023. Т. 3. С. 159–163. ]

Стаття надійшла до редакції 10.11.2025 р., прийнята до друку 20.01.2026 р.

Rovenchak, I. I.  
Bilanyuk, V. I.

 0000-0002-1286-4581  
 0000-0003-4472-8637

Kotyk, L. I.  
Hudzelyak, I. I.

 0000-0001-5046-2287  
 0000-0003-0890-5085

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv

## Lviv Scientific Geographical Schools: To the Origins of Formation and Institutionalisation

UDC 911.9(091):94(477.83-25)(045)

The study of scientific schools occupies an important place in the history of geographical science. It has been proven that communities of leader-thinkers and followers have long been inherent in the scientific environment in general and in geography in particular, but it was only at the end of the 19th century that they became institutionalised in scientific schools. It has been determined that the formation of scientific geographical schools at Lviv University took place in the second half of the 20th century. The work of scientists researching the functioning of scientific geographical schools in the world and Ukraine has been analysed. A comprehensive list of publications on the study of scientific geographical schools at Lviv University is provided, and their content analysis has been carried out. The origins and characteristics of the initial stages of the functioning of scientific geographical schools at Lviv University are revealed: cartographic; complex territorial organisation of society; regional, ecological and engineering geomorphology; landscape studies; genetic soil science. It is substantiated that Lviv scientific geographical schools are branch-specific. The role of the founding leaders (O. Vashchenko, K. Gerenchuk, P. Tsys, S. Poznyak) in the formation and development of the university's scientific geographical schools is summarised, the leaders-followers are identified, and the main achievements of the schools are analysed through the prism of monograph publications, scientific.

**Keywords:** *scientific geography school, Lviv University, cartographic scientific school, specialized geography scientific schools, geography scientific directions.*

### For citation:

Rovenchak, I. I., Bilanyuk, V. I., Kotyk, L. I., & Hudzelyak, I. I. (2026). Lviv Scientific Geographical Schools: To the Origins of Formation and Institutionalisation. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 75–85. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.075>

Copyright © 2026 Publishing House *Akademperyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.086>

Бондаренко Е. Л.

0000-0002-2295-146X,

Дудун Т. В.

0000-0002-9960-9793

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## Сучасні виклики використання засобів штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні

УДК 528.9:37:004.8(477)(045)

Стаття присвячена розгляду сучасних викликів використання засобів штучного інтелекту при підготовці здобувачів вищої освіти з картографії та геоінформатики в Україні. Для цього було розроблено авторський алгоритм дослідження, що складається з кількох послідовних етапів: розроблення підходу до класифікації інструментів штучного інтелекту для використання в навчальному процесі та наукових дослідженнях студентів картографів і геоінформатиків; виокремлення груп наявних викликів, які несуть засоби штучного інтелекту різних класів; оцінювання впливу інструментів штучного інтелекту під час формування та застосування компетентностей майбутніх галузевих фахівців. Ознакою класифікації засобів штучного інтелекту в авторському підході обрано відношення до функціоналу програмних продуктів, які можуть забезпечувати реалізацію різних процесів автоматизації картографічних робіт. Виділено три класи інструментів штучного інтелекту: вбудовані у програмне забезпечення з фіксованими алгоритмами їх роботи та одержання передбачуваного результату; вбудовані у програмне забезпечення з можливістю навчання з одержанням як передбачуваного, так і непередбачуваного результату; незалежні від програмних продуктів, що можуть виконувати завдання та одержанням непередбачуваного результату. Підставою для групування викликів використання засобів штучного інтелекту в сфері картографії та геоінформатики в Україні визначено спільність їхнього змісту по відношенню до освітнього процесу вищої школи, відповідно до чого вони можуть бути етичного, організаційного, сутнісного та технологічного характеру. Оцінювання наслідків негативного впливу інструментів штучного інтелекту на формування компетентностей майбутніх галузевих фахівців здійснено за визначеними авторами дев'ятьма індикаторами, що входять до всіх виділених груп, шляхом оброблення анкет здобувачів вищої освіти. Головний результат оцінювання полягає в тому, що з досвідом використання засобів штучного інтелекту в процесі вирішення фахових завдань негативний вплив суттєво зменшується, а відповідні засоби стають важливою базовою навичкою у переліку компетентностей сучасних картографів і геоінформатиків. У дослідженні було використано такі методи: аналізу, синтезу, класифікації, індукції, дедукції, порівняння, оцінювання, які об'єднують системний підхід для раціональної організації робіт з вивчення різних сторін застосування сучасних засобів штучного інтелекту. Наукова новизна полягає в тому, що авторами вперше систематизовано сучасні виклики використання засобів штучного інтелекту у процесі підготовки вітчизняних фахівців з картографії та геоінформатики в нашій державі.

**Ключові слова:** засоби штучного інтелекту, картографія, геоінформатика, класифікація засобів штучного інтелекту, виклики застосування засобів штучного інтелекту, фахові компетентності.

### Актуальність теми дослідження

Розвиток картографії та геоінформатики у світі та в Україні протягом останніх п'яти десятиліть

неодмінно супроводжується досягненнями науково-технічного прогресу шляхом інтенсивного залучення різноманітних інструментальних

### Цитування:

Бондаренко Е. Л., Дудун Т. В. (2026). Сучасні виклики використання засобів штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні. *Український географічний журнал*. 1, 86–101. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.086>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

і програмних засобів. Їхнє застосування безпосередньо пов'язане з автоматизацією процесів проектування, укладання, підготовки до видання та видання (поширення у безпаперовому вигляді) картографічних творів з позитивним впливом на підвищення продуктивності виконання поставлених завдань картографування (продуктивності праці суб'єктів здійснення картографічної діяльності).

Сучасний етап автоматизації картографічних робіт базується на використанні найпередовіших технологій, серед яких окреме місце по праву належить інструментам штучного інтелекту (ШІ) — програмним продуктам, які надають можливості виконання завдань певної складності, зіставних із застосуванням інтелекту людини.

Підвищення ролі інтелекту в комп'ютерних програмах (географічних інформаційних системах (ГІС), вузькофункціональних продуктах, системах автоматизованого проектування та розрахунку (САПР) тощо) та спеціалізованому інструментарії (цифрових фотограмметричних станціях, лідарних системах, безпілотних літальних апаратах тощо), які застосовуються як засоби автоматизації в картографії, загалом виводить їх на зовсім інший рівень впровадження у контексті виконання функцій систематизації великих обсягів геопросторових даних, проведення класифікацій та розпізнавання образів на основі машинного навчання, формування логічних висновків за заданими параметрами та ін., позитивно впливаючи на освітню та наукову діяльність при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики, а також на проведення науково-дослідних і виробничих робіт галузевими суб'єктами.

Але крім позитивного впливу інструменти ШІ очевидно несуть певні проблеми, що пов'язані насамперед з етичними питаннями використання зазначених засобів (перш за все питаннями моральної поведінки людей у процесі застосування ШІ), безпекою даних (зокрема персоніфікованих), непередбачуваністю одержаних результатів їхньої роботи тощо. Тому дослідження сучасних викликів використання засобів ШІ з акцентом на навчальному процесі та наукових дослідженнях при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики у закладах вищої освіти (ЗВО) України, без сумніву є актуальними, важливими та необхідними.

### Стан вивчення питання, основні праці

Для визначення існуючих викликів інтенсивного та в певному сенсі хаотичного поточного використання ШІ в освітній діяльності та науково-дослідній роботі під час підготовки здобувачів з картографії та геоінформатики у закладах вищої освіти, необхідно здійснити вивчення опублікованих наукових праць і регламентних документів. При цьому варто вказати, що, незважаючи на значну кількість робіт із застосування ШІ в різних сферах, особливо в останній період, картографія та геоінформатика охоплена цими публікаціями ще недостатньо. Також розуміємо, що опрацювання застосування інструментів штучного інтелекту зараз характеризується високою динамічністю, у зв'язку з чим не всі публікації з обраної теми роботи для аналізу стану вивчення питання можуть потрапити до цього дослідження.

У статті [1], присвяченій визначенню потенційного впливу систем ШІ на підготовку фахівців з картографії та геоінформатики, її авторами проаналізовано основні нормативні документи України та Європейського Союзу щодо правового визначення та регулювання застосування інструментів ШІ, висвітлено питання авторського права на результати роботи програмних продуктів, які відносяться до ШІ або виконують окремі його функції, зокрема й на картографічні твори, створені з використанням засобів ШІ. В той же час зазначено, що крім прав на одержаний результат застосування інструментів ШІ для нових картографічних розробок визначається певними обов'язками і відповідальністю. Підкреслено важливість такого твердження через те, що робота програмних продуктів із ШІ може давати негативні результати, а також супроводжуватись помилками. Вказано, що станом на поточний момент в Україні відсутні законодавчі положення для визначення осіб, відповідальних за кожен випадок роботи штучного інтелекту, тому важливим є встановлення причинно-наслідкових зв'язків, визначення часу, поведінки та обставин тих подій, які призвели до помилкових операцій роботи ШІ.

Автори роботи [2] розглядають потенційні загрози етичного характеру, що можуть виникати під час впровадження геопросторового ШІ в картографію. Зазначені виклики, на їхню думку, пов'язані з рядом процесів, серед яких важливого значення набувають: комодифікація

(що полягає у одержанні кінцевого результату картографування (який може бути достатньо якісним, авт.) без значного (або навіть жодного знанневого) внеску автора (розробника) у цей результат); відповідальність (пов'язана з негативними наслідками застосування ШІ та одержанням помилкових результатів його роботи); конфіденційність (очевидно стосується даних (авт.), характеризується необхідністю авторизації користувача відповідного програмного забезпечення по роботі з нею); упередженість (одержання хибного результату на основі застосування інструментів ШІ); прозорість, пояснення та походження (визначаються процесами, пов'язаними з чіткими алгоритмами роботи ШІ, розуміння можливостей одержаних результатів на будь-якому етапі його застосування, використання даних з ідентифікованих джерел).

Головним результатом дослідження [3] є висновок про те, що сучасна хвиля інструментів штучного інтелекту дозволяє створювати картографічні твори без чітко запрограмованих правил, розширюючи, а в деяких випадках і перевершуючи людський інтелект. На наше переконання це означає, що інтелектуальні здібності фахівців можуть бути менш затребуваними у найближчому майбутньому та визначає одну із потенційних загроз застосування ШІ під час провадження освітньої діяльності та виконання науково-дослідних робіт у картографії та геоінформатиці.

Аналогічний висновок можна зробити стосовно змісту статті [4], де її автори запропонували інтелектуальну платформу картографування на основі великої мовної моделі ШІ, що називається MapGPT, і яку можна використовувати для картографування, розглядаючи карту як інтеграцію різних її елементів. У MapGPT розроблено кілька професійних інструментів картографування, кожен з яких призначений для управління відповідним елементом карти. За допомогою таких інструментів ця модель ШІ використовується спочатку для розуміння потреб користувачів на основі простих описів природною мовою або й навіть через розмову (голосовий супровід), з подальшим автоматичним послідовним викликом відповідних інструментів для створення карти (вже за допомогою зображувальних засобів).

Дослідження [5] присвячене аналізу 16 етичних рекомендацій ШІ та 8 рекомендацій

геоінформаційних технологій щодо визначення та використання низки етичних цінностей і принципів його роботи (наприклад, автономії, упередженості, конфіденційності та згоди). Одним з ключових висновків проведеного аналізу є асиметричне згадування певних цінностей і принципів у рекомендаціях. Рекомендації щодо ШІ чітко вказують на потенціал ШІ негативно впливати на соціальну та екологічну справедливість, автономію, гідність, тоді як у рекомендаціях щодо геоінформаційних технологій цим впливам приділяється набагато менше уваги. Це вказує, згідно з думкою автора [5], на необхідність того, щоб у геоінформаційних рекомендаціях було більше уваги приділено ролі, яку географічна інформація може відігравати у позбавленні прав окремих осіб і груп.

Автори статті [6] у своєму дослідженні приділили увагу значенню різних форм фалібілізму (з лат. *fallibilis* означає «схильний помилятися» чи «зобов'язаний помилятися», авт.) у контексті генеративного ШІ та його застосування в картографії. Такий підхід наголошує на фундаментальній помилковості знань, згенерованих ШІ, та закликає до критичного осмислення їхніх меж і невизначеностей. У цьому випадку авторами [6] розглядаються п'ять варіантів фалібілізму (епістемологічний, методологічний, онтологічний, прагматичний та неопрагматичний). Епістемологічний підхід визначається тимчасовим характером знань, тоді як методологічний — зосереджується на необхідності методів, стійких до помилок. Онтологічний фалібілізм ставить під сумнів фундаментальні припущення про реальність, а прагматичний та неопрагматичний — наголошують на практичній корисності знань та ітеративному розвитку. Останній варіант фалібілізму інтегрує всі інші, пропонуючи гнучку та практично орієнтовану структуру. Ця структура сприяє створенню корисних, динамічних та інклюзивних картографічних застосувань. У змісті статті описується, як генеративний ШІ може бути використаний у неопрагматичних рамках фалібілізму для конструктивного вирішення невизначеностей та розроблення соціально значущих рішень у галузі картографії.

У роботі [7] визначено наявність труднощів у застосуванні пояснювального ШІ до геопросторового ШІ, зведених її авторами до трьох основних проблем: проведення обчислень

пояснювальним ШІ; обробки географічних даних засобами геопросторового ШІ; геосоціального характеру. При демонстрації на прикладі класифікації площинних об'єктів визначено, що обчислення пояснювального ШІ включають труднощі вибору довідкових даних / моделей. Обробка географічних даних пов'язана з врахуванням масштабу, базових географічних структур даних, певних варіантів візуалізації результатів. Геосоціальні проблеми охоплюють обмеження обсягу знань (семантики та онтологій) у поясненні роботи геопросторового ШІ, а також відсутність інтеграції нетехнічних аспектів у пояснювальному ШІ, включаючи процеси, які йому не піддаються для вирішення.

У аналітичній довідці [8] її авторами окреслено виклики та загрози використання інструментів ШІ в освітньому процесі та наукових дослідженнях у цілому. Вказано головні виклики застосування ШІ (упередженість та якість даних, авторські права та права власності, прозорість технології та інтерпретованість результатів, надмірна залежність від технологій, алгоритмічна упередженість і справедливість, недостатня експертиза предметної галузі, вимоги до вартості та інфраструктури, алгоритмічна підзвітність, зміна характеру роботи, доступність та рівність), які зведені до питань етичного характеру. Можливими наслідками використання засобів ШІ у [8] визначено плагіат, дезінформацію, шахрайство, фальсифікацію. Відмітимо, що окремі наслідки необачного використання ШІ досить вдало вирішуються вже зараз. Зокрема це стосується плагіату, який щодо застосування ШІ у навчальних і наукових роботах успішно перевіряється завдяки новому функціоналу відповідного програмного забезпечення, що постійно вдосконалюється.

При розгляді питань інтеграції ШІ до сфери освіти, зокрема проблем, викликів, загроз, автори публікації [9] визначають розвиток інформаційно-комунікаційних технологій і ШІ та активне впровадження зазначених форм в освітній і науковий процес як серйозний виклик освітнього середовища. Зазначають, що разом із новими можливостями ШІ у цій царині виникають етичні проблеми. В цьому плані вони вказують на необхідність балансування інновацій із забезпеченням конфіденційності інформації та справедливого використання технологій; важливість розроблення стандартів

етики освіти, які забезпечують чесне та безпечне використання інформації в навчанні.

До найсерйозніших недоліків використання ШІ в освітньому процесі закладів вищої освіти авторами [9] віднесено відсутність у ШІ суто людських якостей, зокрема: моральності, вміння співчувати, співпереживати, надавати дружню підтримку тощо; відсутність інтуїтивно вірних реакцій на різні життєві ситуації; потенційна можливість використання інструментами ШІ збору персональної інформації з подальшим застосуванням проти волі людини.

У змісті регламентного документу Міністерства освіти і науки та Міністерства цифрової трансформації України [10] подано рекомендації щодо відповідального використання ШІ в закладах вищої освіти. Відзначено, що сучасна освіта неможлива без ШІ, тому заклади вищої освіти повинні здійснювати адаптацію до сучасних освітніх трендів і впроваджувати найкращі світові практики у сфері ШІ, щоб зберігати конкурентоспроможність, робити нові наукові прориви та готувати сильних фахівців. Серед викликів ШІ — це забезпечення інтеграції інструментів ШІ принципам контролю з боку людини, конфіденційності, управлінню даними, прозорості та недискримінації.

Обрані для аналізу роботи є важливими для розуміння окремих напрямів застосування ШІ. Вони характеризують сучасний стан вивчення питання наявних викликів, які несуть засоби ШІ для системи освіти та проведення наукових досліджень, зокрема й у галузі картографії та геоінформатики. Об'єднуючою ланкою для всіх робіт є виокремлення проблем, пов'язаних з етичними питаннями застосування ШІ, але вони, на нашу думку, не є кінцевими в переліку його викликів і загроз. Тому й виникла ідея щодо необхідності написання цієї статті.

### Мета дослідження

Мета цієї роботи полягає у систематизації сучасних викликів використання засобів ШІ у процесі підготовки фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

На основі сформульованої мети авторами поставлено до виконання ряд послідовних завдань:

- розробити підхід до класифікації інструментів ШІ для використання в навчальному процесі та наукових дослідженнях при підго-

товці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні;

- виокремити групи наявних викликів використання інструментів ШІ у зазначеній галузі;
- оцінити рівні впливу засобів ШІ у процесі використання під час навчання та проведення наукових досліджень при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

Об'єктом дослідження було обрано інструменти ШІ, застосування яких у освітньому процесі та наукових дослідженнях супроводжується певними викликами під час формування компетентностей у майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики та подальшого функціонування цієї галузі в Україні з урахуванням впровадження ШІ.

Предметом дослідження визначено сучасні виклики використання засобів ШІ при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

### Методи дослідження

Сукупність методів наукового дослідження, що виділені за відношенням до певних галузей науки та які автори обрали для його проведення, а також послідовність їхнього застосування згідно з логічною послідовністю поставлених завдань, складає його методологію.

Метод аналізу необхідний для вивчення властивостей окремих інструментів ШІ щодо можливостей вибору ознак їхнього віднесення до різних категорій. Внаслідок одержання комплексу відповідних знань за результатами аналізу, виокремлення особливостей засобів ШІ для виконання фахово-орієнтованих завдань картографії та геоінформатики і пізнання предмета дослідження як єдиного цілого, забезпечується шляхом застосування методу синтезу.

Класифікація дала змогу здійснити розподіл інструментів ШІ на різні групи у відповідності з обґрунтованою ознакою такого розподілу щодо можливостей використання в навчальному процесі та наукових дослідженнях при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні, а також виділення груп загроз відповідних засобів.

Використання наукової індукції дозволило здійснити формулювання поточних та кінцевих висновків щодо функціоналу значної кількості засобів ШІ, викликів, які вони можуть нести за результатами їхнього застосування, та що від-

бувається на основі дослідження відповідних функцій у частини даних елементів, які входять до одного класу функціональності. Невіддільна від індуктивного методу дедукція дозволила зробити висновок про конкретні виклики та загрози ШІ у галузі картографії та геоінформатики на підставі знань загальних властивостей та наявних функцій проаналізованих інструментів.

Порівняльний метод у дослідженні застосовано для виявлення подібностей та відмінностей у засобах ШІ для проведення їхнього упорядкування з урахуванням різних критеріїв.

Визначення кількісних і якісних параметрів щодо викликів застосування інструментів ШІ та перспективи їхнього впливу на формування найближчого розвитку галузевого середовища здійснено на основі оцінкового методу шляхом анкетування.

Системний підхід, який розглядається авторами як засіб інтегрування всіх складових, що дозволили здійснити виявлення викликів застосування інструментів ШІ, використано на всіх етапах проведення даного дослідження.

### Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

Навчання здобувачів за спрямуванням з картографії та геоінформатики в Україні, здійснюється у ЗВО на освітніх програмах її першого, другого та третього рівнів [11]. У 2023 р. в нашій країні функціонувало три центри такої підготовки: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Національний університет «Львівська політехніка», Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна [12].

У зв'язку з узгодженням у 2024 р. національного переліку галузей знань і спеціальностей [13] з міжнародним стандартом класифікації освіти [14] освітні програми, які поєднують картографію та геоінформатику, зараз реалізуються за спеціальністю «Науки про Землю» галузі знань «Природничі науки, математика та статистика» лише у двох ЗВО: Київському національному університеті імені Тараса Шевченка та Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна.

Проведення освітніх програм з картографії та геоінформатики за названою спеціальністю повністю узгоджується з її змістом [14].

Підготовка фахівців зазначеного профілю можлива також і за спеціальністю «Геодезія та землеустрій» галузі знань «Інженерія, виробництво, будівництво» [13], зокрема для виконання вузько-спрямованих задач картографування засобами геоінформаційних систем, оскільки картографія згідно [14] входить до переліку її спеціалізацій (тут розуміємо лише частину картографії, яка асоціюється з певними напрямками спеціального картографування). Але така можливість може бути реалізована за рахунок наявного потужного кадрового потенціалу, зосередженого в одному структурному підрозділі ЗВО, що доволі успішно зроблено на кафедрі геодезії та картографії Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Підготовка виокремлених фахівців з геоінформатики нами у цій роботі не розглядається, оскільки геоінформатику не можна відокремити від картографії, а зв'язок зазначених галузей знань й надалі тільки міцнішає. При цьому карти та атласи є одним із головних джерел одержання просторово-часової інформації для опрацювання у середовищі ГІС. Інші інформаційні джерела, що не містять картографічної складової, для використання у ГІС прив'язуються до карт на основі систем координат, які застосовуються в картографії. Візуалізація результатів роботи ГІС здійснюється переважно у вигляді карт різних видів і типів.

Тому, на нашу думку, саме фундаментальна та практична картографічна підготовка на відповідних освітніх програмах є основою формування компетентностей сучасних фахівців з картографії та геоінформатики. Володіння мовами програмування, функціоналом ГІС та іншого програмного забезпечення, інструментами ШІ лише підсилює їхні знання, уміння та навички виконувати практичні завдання найвищого ступеня складності.

*Підхід до класифікації інструментів  
штучного інтелекту для використання  
в навчальному процесі та наукових  
дослідженнях при підготовці фахівців  
з картографії та геоінформатики в Україні*

Важливим і початковим завданням у питанні розуміння викликів і загроз, які несуть (або можуть нести) засоби ШІ на формування компетентностей майбутніх фахівців з картографії

та геоінформатики, є їхня класифікація. Вона дозволить упорядкувати наявні інструменти ШІ з урахуванням динамічності їх розвитку. Але враховуючи майже повну відсутність робіт, присвячених питанням групування програмних продуктів із ШІ для виконання галузевих завдань, автори вважають за необхідне спочатку розглянути наявні досягнення стосовно класифікацій зазначених продуктів за різними ознаками.

Автор [15] провів категоризацію ШІ стосовно можливостей його використання при вирішенні різних професійних завдань у цілому. Інструменти ШІ ним класифіковано за рядом ознак: за ієрархічними рівнями складності; за методами навчання; за функціональністю.

При виділенні ШІ за ієрархічними рівнями складності вказано, що такі інструменти є найширшою ієрархічною категорією, яка охоплює методи, що дозволяють машинам (ми розуміємо — програмним продуктам) імітувати людський або інший біологічний інтелект, роблячи висновки з його вхідних даних та генеруючи результати, не обов'язково будучи явно закодованими. Зазначено, що ШІ є широкою галуззю, яку можна додатково розділити на підгалузі на основі цілей, методів або застосувань систем. З урахуванням цього у [15] виділено такі засоби ШІ як: машинне навчання (МН); глибоке навчання (ГН); генеративний ШІ (ГенШІ). Тут слід додати, що вони знаходяться на різних ієрархічних рівнях складності (рис. 1).

МН є підмножиною ШІ, зосередженою на створенні алгоритмів або систем, які можуть навчатися на даних та покращувати свою продуктивність без явного програмування. Виділено різні алгоритми МН: навчання з учителем, без учителя або навчання з підкріпленням залежно від типу методу навчання та наявності зворотного зв'язку.

Підмножиною МН, за твердженням автора [15], є ГН, що використовує штучні нейронні мережі (НМ) для моделювання складних закономірностей та зв'язків у даних. Відзначено, що НМ є найпотужнішими алгоритмами ШІ. Однак вони також ресурсоемні для навчання та запуску. Фахово-орієнтовані завдання, які можуть виконуватись на основі використання ГН, описано у [1].

Підмножиною ГН є ГенШІ, що характеризується створенням нового різноманітного та різнотипного контенту, використовуючи

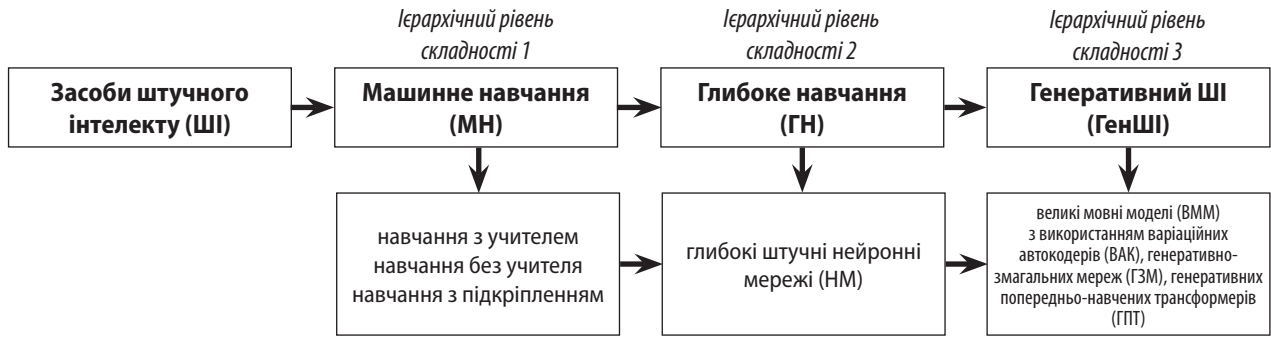


Рис. 1. Модель класифікації засобів ШІ за ієрархічними рівнями складності (укладено авторами на основі [15])

методи варіаційних автокодерів (ВАК), генеративно-змагаючих мереж (ГЗМ), генеративних попередньо-навчених трансформерів (ГПТ).

Відзначимо, що у класифікації за цією ознакою автором [15] не враховано окрему підмножину ГН — агентний ШІ, який здатен автономно (без участі людини) створювати контент, планувати та виконувати багатоетапні завдання. Використання такого засобу ШІ очевидно сприятиме появі певних загроз, які обов'язково треба враховувати для мінімізації ризиків одержання непередбачуваного результату.

Складові МН (див. рис. 1) формують у [15] розподіл ШІ на три категорії, виділені за ще однією ознакою класифікації — методами навчання. Навчання з учителем у ШІ передбачає навчання моделі за допомогою «мічених даних», коли кожен набір вхідних даних має пов'язаний відомий результат. Навчання без учителя визначає навчання моделі за допомогою «немічених даних», тобто вхідні дані не мають жодних пов'язаних виходів або цілей. Навчання з підкріпленням передбачає можливості використання людей для оцінки початкових результатів моделі на основі заздалегідь визначеної та загальної системи оцінювання.

Функціональність як ознака класифікації інструментів ШІ визначає їхні можливості (за допомогою сукупності функцій) щодо вирішення завдань відповідної складності. Такими функціями є: виконання алгоритмів прогнозування та регресії; класифікація; кластеризація; обробка природної мови; розпізнавання зображень; формування рекомендацій.

Зрозуміло, що такий розподіл ШІ не є вичерпним. До нього можуть бути включені й інші його класи (категорії) по мірі їхньої появи у програмному забезпеченні або виявленні у

процесі подальших досліджень. У роботі [15] приведені окремі приклади програмних продуктів, які входять до різних категорій ШІ.

Публікація [16] дає розподіл засобів ШІ за двома ознаками: типом виконуваних завдань і функціональністю (типом виконуваних функцій).

За типом виконуваних завдань виділено вузький ШІ (розроблений та навчений виконувати конкретні завдання або завдання у вузькому діапазоні); загальний ШІ (має здатність розуміти, навчатися та застосовувати знання в широкому діапазоні, подібно до того, як людина може адаптуватися до різних завдань; ця категорія ШІ зараз ще залишається більше на теоретичному рівні, ніж на практиці); супер ШІ (має перевершувати інтелект людини у вирішенні проблем, креативності та загальних здібностях; поки не реалізований).

За функціональністю ШІ класифіковано на: реактивні машини (працюють виключно на основі поточних даних і не зберігають жодного попереднього досвіду; ці засоби реагують на конкретні вхідні дані фіксованими вихідними даними та не здатні адаптуватися); інструменти з обмеженою пам'яттю (можуть навчатися на основі минулих даних, щоб покращити майбутні реакції); теорія розуму у ШІ (перебуває в розробці та має на меті зрозуміти людські емоції, переконання, наміри та бажання; після появи він дозволить машинам брати участь у складніших взаємодіях, сприймаючи емоції та відповідно коригуючи поведінку); самосвідомий ШІ (нині удаваний інструмент ШІ, який має володіти самосвідомістю та усвідомленістю, подібною до людської).

Аналогічні чотири класи ШІ визначено у [17]. А інтеграція типів виконуваних ШІ задач і типів виконуваних функцій (функціональності)

з формуванням семи класів засобів ШІ подається для аналізу в публікації [18].

Проаналізовані публікації стали підґрунтям для викладення авторського підходу до класифікації інструментів ШІ для їх використання в навчальному процесі та наукових дослідженнях при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

Виходячи із загальновідомих вимог до класифікацій, а також базуючись на важливих початкових напрацюваннях, розкритих у дослідженні [1], доцільно сформулювати необхідні для цього умови, яким вони (стосовно ШІ) мають підпорядковуватись для виконання галузевих завдань, зважаючи на їхню специфіку. Це:

- суттєвість ознак, за якими має відбуватись розподіл засобів ШІ на категорії (наприклад, виділення класів, підкласів, видів, підвидів тощо);
- застосування дедуктивного підходу до класифікації, що полягає у стадійному переході від загального до окремого;
- кожен рівень виділення інструментів ШІ має передбачати зв'язок із головною сутністю (ядром), чим є програмне забезпечення, в рамках якого реалізовано його певний функціонал;
- повнота класифікації, що повинна підтверджуватись на момент її проведення залученням усіх відомих інструментів ШІ;
- наявність у розробленій класифікації порожніх (резервних) чарунок для можливостей її доповнення та оновлення новими категоріями, що особливо важливо із-за динамічності засобів ШІ.

Логічно стверджувати, що інструменти ШІ як програмні засоби для картографії та геоінформатики безпосередньо пов'язані із засобами автоматизації картографічних робіт. Тому в основу вибору ознак їхнього розподілу для виділення класифікаційних категорій необхідно покласти критерій відношення до функціоналу програмних продуктів, які можуть забезпечувати реалізацію відповідних задач.

Автори виділяють наступні три класи засобів ШІ за цією ознакою:

- вбудовані у програмне забезпечення, що забезпечує різні процеси автоматизації картографічних робіт з фіксованими алгоритмами їх роботи та одержання передбачуваного результату;
- вбудовані у програмне забезпечення для автоматизації картографічних робіт з можли-

вістю навчання з одержанням як передбачуваного, так і непередбачуваного результату;

- незалежні від програмних продуктів, які використовуються для автоматизації картографічних робіт, але можуть виконувати завдання по роботі з просторовими даними та одержанням непередбачуваного результату.

Клас вбудованих інструментів ШІ з фіксованими алгоритмами їх роботи та одержання передбачуваного результату охоплює програмне забезпечення, що відноситься до краудсорсингових картографічних сервісів і аналогічних продуктів із можливостями роботи з типовими географічними основами (наприклад, Google Maps); ГІС (ArcGIS Pro, MapInfo Pro, QGIS); САПР (AutoCAD Map); вузькофункціональних продуктів (Surfer) та ін., що виконують типові завдання у процесі створення картографічних творів, серед яких: мультирівнева генералізація; розподіл рядів кількісних показників на градації на основі запрограмованих методів утворення шкал (для тих способів картографічного зображення, які це передбачають); реалізація алгоритмів автоматичної інтерполяції (для картографування способами ізоліній / псевдоізоліній); проведення класифікації та кластеризації території за заданими алгоритмами; виконання кореляційного та регресійного аналізу в процесі застосування картографічного методу дослідження (наприклад, реалізація функцій геоінформаційного аналізу) тощо.

До класу вбудованих у програмне забезпечення засобів ШІ з одержанням як передбачуваного, так і непередбачуваного результату для автоматизації картографічних робіт, на наше переконання насамперед слід віднести повнофункціональні ГІС, які містять окремі плагіни з функціями ШІ (наприклад, Aino, Dzetsaka у QGIS); ГІС для (або повнофункціональні ГІС із функціями) обробки растрових даних (GRASS GIS, ArcGIS, ERDAS IMAGINE, QGIS); хмарні платформи (Google Earth Engine), зокрема для розпізнавання образів, проведення класифікацій (напівкерованих і керованих), здійснення машинного навчання на даних.

Клас незалежних інструментів ШІ, які сприяють створенню нового різноманітного та різнотипного галузевого контенту, включає засоби ГН та ГенШІ (див. рис. 1), засновані на можливостях глибоких НМ, які дають змогу виконувати завдання без можливості передбачити їхній

<b>Класифікація засобів ШІ</b>				
<i>За відношенням до функціоналу програмних продуктів, у яких реалізовані можливості ШІ</i>	<i>За ієрархічними рівнями складності виконуваних завдань</i>		<i>За типом виконуваних завдань</i>	<i>За типом виконуваних функцій</i>
Вбудовані у програмне забезпечення для автоматизації картографічних робіт із передбачуваним результатом їхньої роботи	Перший (МН)	Другий (ГН)	Вузький ШІ	Реактивні машини
Вбудовані у програмне забезпечення для автоматизації картографічних робіт із можливістю навчання та передбачуваним або непередбачуваним результатом роботи				Інструменти з обмеженою пам'яттю
Незалежні засоби ШІ, які можуть бути використані для автоматизації картографічних робіт на різних етапах створення / використання карт		Третій (ГенШІ, агентний ШІ)	Загальний ШІ	

Рис. 2. Графічна модель взаємодії засобів ШІ за різними ознаками їх класифікації (укладено авторами)

результат. Моделі ГенШІ, що попередньо навчені на великих обсягах даних та адаптовані для широкого кола завдань (їх прийнято називати базовими моделями), можуть бути «точно налаштовані» для специфічних для картографії та геоінформатики випадків використання.

У цілому базові моделі ГенШІ на основі введеного тексту можуть створювати зображення (для прикладу, DALL-E, Midjourney, Stable Diffusion), відео (Pika, Runway, Sora), на основі введеного голосу формувати текст (Whisper). Одночасне виконання функцій перетворення тексту в текст, тексту в зображення, голосу в текст, зображення у відео тощо та оброблення кілька різних типів вхідних даних визначається мультимодальністю таких засобів ШІ. Приклад їхнього застосування для виконання галузевих завдань (на функціоналі Chat GPT) наведено у [1]. До цього класу слід віднести й агентний ШІ.

Конвергенція авторського підходу до групування інструментів ШІ та інших приведених вище класифікацій дала змогу побудувати графічну модель взаємодії таких існуючих засобів, **рис. 2.**

Аналіз графічної моделі класифікації засобів ШІ (**див. рис. 2**) показав, що клас вбудованих у програмне забезпечення автоматизації картографічних робіт по суті є частиною інструментів ШІ першого ієрархічного рівня складності, який відносяться до вузьких засобів за типом виконуваних задач та реактивних машин за типом виконуваних функцій (функціональністю). Передбачуваний результат роботи таких ШІ

унеможливорює серйозні виклики його застосування, а певні загрози можуть бути пов'язані виключно з рядом відомих етичних питань.

Клас вбудованих у програмне забезпечення засобів ШІ з одержанням як передбачуваного, так і непередбачуваного результату охоплює програмні продукти першого та другого рівнів складності, які відносяться до вузьких засобів за типом виконуваних задач та інструментів з обмеженою пам'яттю (за функціональністю). Загрози використання продуктів цього класу пов'язані з результатом, що є непередбачуваним.

Клас незалежних інструментів ШІ, які сприяють створенню нового різноманітного та різнотипного галузевого контенту, асоціюється з другим і третім ієрархічними рівнями, забезпечуючи виконання різних функцій згідно з поставленими завданнями. І саме цей клас ШІ може бути найнебезпечнішим щодо результатів його використання.

Непередбачуваність одержуваних результатів застосування інструментів ШІ різних класів при виконанні навчальних і дослідницьких фахово-орієнтованих завдань є одним із викликів, який за своїм характером відрізняється від викликів, наприклад, етичного характеру, а в залежності від функціоналу ШІ чи типів виконуваних завдань за його допомогою, може мати різний зміст. Тому для формування переліку сучасних викликів застосування засобів ШІ у картографії та геоінформатиці слід врахувати загальні критерії розподілу таких інструментів щодо їх впливу на вищу освіту, визначені

зокрема в роботі [19]. Такими є: автоматизація; відкриття нових можливостей; персоналізація; прогнозування; розширення категорій здобувачів. Зазначені критерії авторами адаптовано та розширено з урахуванням галузевої спрямованості виконання навчальних і наукових завдань.

Автоматизація без сумніву є тим наріжним критерієм, який в цілому визначає особливості функціонування сучасної картографії, а можливості різних категорій ШІ за рівнями ієрархічної складності здатні підвищувати ефективність виконання завдань та економію більшості видів ресурсів. ШІ здатний допомогти оптимізувати або трансформувати різні процеси проектування, створення, підготовки до видання картографічних творів (їх поширення в електронному вигляді).

Алгоритми МН будуть особливо потужними, коли йдеться про автоматизацію повторюваних завдань, наприклад, при створенні картографічних творів за регламентними документами; застосування однакових параметрів розподілу рядів кількісних показників на градації тощо.

Методи ГН є тією категорією інструментів ШІ, які можуть давати багатоваріантні результати.

Чат-боти на базі ШІ (ГенШІ) знаходять реальне застосування у підтримці студентів через широке використання для оброблення їхніх базових запитів або для надання репетиторської підтримки, розширюючи контакти зі студентами без збільшення кількості викладацького персоналу.

Нові можливості ШІ у навчанні та наукових дослідженнях допомагають здобувачам освіти також виявляти закономірності, тенденції та зв'язки між даними (на різних рівнях їх застосування), що може привести до прийняття більш обґрунтованих рішень; а викладачам — адаптувати власні навчальні стратегії до відповідності потреб своїх студентів. Тут без сумніву актуальними є всі категорії ШІ, виділені за ієрархічними рівнями складності виконуваних завдань. Особливо слід вказати на агентний ШІ, що здатний автономно приймати рішення щодо поставленої задачі. Хоча станом на поточний момент він знаходиться ще на етапі тестування.

Персоналізований підхід із залученням ШІ дозволяє налаштовувати навчальний матеріал і шляхи його вивчення, надавати зворотний зв'язок у режимі реального часу, адаптований до

кожного здобувача. У процесі збору інформації з різних джерел інструменти МН (розпочинаючи з першого рівня складності завдань) здатні на створення динамічних профілів користувачів, які з часом покращуються (уточнюються), коли користувач взаємодіє із системами. Тут звичайно мова не йде про застосування реактивних машин, алгоритми яких запрограмовані розробниками, наприклад, у настільних ГІС.

Аналізуючи закономірності та тенденції, інструменти ШІ другого та третього ієрархічного рівнів складності виконуваних завдань можуть проводити оцінки потенційних майбутніх результатів навчання (дослідницької діяльності) для раннього втручання або прогнозування. Знову ж таки, частина засобів ШІ, виділених за цим критерієм, перебувають на стадії розроблення. Це насамперед інструмент теорії розуму та самосвідомий ШІ.

Інклюзивність та доступність розширюють вплив вищої освіти на більше коло людей з різними потребами в навчанні, а засоби ШІ можуть відігравати ключову роль у задоволенні цих потреб (наприклад, перепрофілювання матеріалу; забезпечення перекладу іншомовного контенту в режимі реального часу).

За усіма критеріями позитивний вплив на результати застосування ШІ при вирішенні завдань картографії та геоінформатики можливий лише у випадку врахування ряду наявних викликів (*табл. 1*), які сформують декілька груп з віднесенням до них негативних впливів, виділених за спільністю змісту.

*Зміст наявних викликів  
використання засобів ШІ під час навчання  
та проведення наукових досліджень  
здобувачів з картографії  
та геоінформатики в Україні  
й оцінювання наслідків їхнього негативного  
впливу на формування компетентностей  
майбутніх фахівців*

У проаналізованих у цій статті роботах на чільне місце викликів, які можуть нести засоби ШІ, ставляться етичні питання і саме вони об'єднують всі загрози (або переважну більшість з існуючих) застосування зазначених інструментів.

Підтверджуємо важливість етичних викликів, які потрібно враховувати при впровадженні ШІ. Вони пов'язані насамперед зі стрім-

**Таблиця 1. Модель взаємодії результатів позитивного впливу та наявних викликів застосування інструментів ШІ\***

Загальні критерії розподілу інструментів ШІ для навчальних і наукових завдань при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики	Результат позитивного впливу застосування інструментів ШІ при вирішенні галузевих завдань	Прояви негативного впливу застосування інструментів ШІ при вирішенні галузевих завдань
Автоматизація	Підвищення ефективності виконання завдань, оптимізація та економія окремих видів ресурсів	Зниження рівня конфіденційності, непередбачуваність у роботі, зниження рівня аналітичного мислення, підвищення енергоємності обладнання
Нові можливості	Прийняття більш обґрунтованих рішень	Розрив між можливостями та реаліями використання ШІ
Персональний підхід	Створення динамічних профілів користувачів	Відсутність доступних дієвих засобів контролю за порушенням етичних норм (добросесності, поваги, підзвітності, відповідальності)
Раннє втручання	Швидка оцінка майбутніх результатів навчання (виконання завдань)	Неузгодженість проміжних та / або кінцевих результатів між собою через їхню багатоваріантність
Розширення впливу освіти на ширші кола здобувачів	Забезпечення інклюзивності та доступності	Упередженість, що обмежує різноманітність виконавців для запобігання будь-якого впливу на одержання некоректних результатів роботи ШІ

\* Укладено авторами з використанням [19].

ким розвитком їх різноманітних інструментів, зокрема й щодо можливостей виконання завдань (проведення наукових досліджень) з картографії та геоінформатики.

Вважаємо, що етика застосування ШІ у вирішенні завдань галузевої спрямованості визначається:

- власне моральною поведінкою користувачів (здобувачів) такими засобами у контексті застосування професійних норм, які визначають їхні дії в навчальному та дослідницькому середовищі (етичній спільноті). Така поведінка повинна виключати будь-які зловживання, розробки дезінформаційного характеру, задання неусвідомленої шкоди;

- відсутністю упередженості, що обмежує різноманітність виконавців, для запобігання будь-якого впливу на одержання некоректних результатів застосування ШІ;

- сумісністю можливостей використання ШІ та наявних регламентних документів;

- відповідністю здобутих фаховим компетентностям;

- глибоким усвідомленням відповідальності за результати вирішення поставлених завдань;

- стосунками у внутрішньому середовищі (колективі виконавців), у тому числі під час командної роботи;

- відсутністю емоційного інтелекту, коли отриманий результат виконання завдання не викликає задоволення здобувача (виконавця) у відповідному досягненні.

Але крім викликів етичного характеру доцільно виокремити й інші загрози застосування ШІ, що об'єднані нами у наступні групи за критерієм відношення до їх змістових характеристик. Такими є виклики організаційного, сутнісного та технологічного характеру.

Організаційні виклики застосування ШІ — це певні небезпеки та слабкі місця у переліку заходів та дій, неврахування яких призводить до певних негативних наслідків. Вони можуть виникати у випадку:

- відсутності єдиних підходів до впровадження та використання інструментів ШІ при вирішенні поставлених завдань;

- неповного розуміння проблем та потенційних можливостей використання засобів ШІ (як з боку виконавців, так можливо і навіть з боку керівників);

- відсутності дієвих засобів контролю за порушенням принципів доброчесності, поваги, підзвітності, відповідальності;

- неповного впровадження або відсутності заходів захисту конфіденційності щодо можливостей роботи з використанням інструментів ШІ, пов'язаних зокрема із шифруванням та анонімним використанням відповідних продуктів.

Сутнісні виклики застосування ШІ пов'язані насамперед зі зміною змісту роботи виконавця фахово-орієнтованих завдань і необхідністю надання експертних оцінок щодо отриманих результатів. Це пов'язано з:

- непередбачуваністю, що визначає зміну власне сутності роботи фахівця внаслідок застосування ШІ;

- багатоваріантністю проміжних та / або кінцевих результатів, що дає варіанти, які не узгоджуються або можуть не узгоджуватись між собою. Останнє напряму пов'язане з явищем фалібілізму, зміст якого розкрито у [6];

- необхідністю верифікації одержаних результатів, яка забезпечується прикладанням інтелектуальних здібностей фахівців (аналітичним мисленням, у здобувачів такі здібності розвиваються під час навчання та формуються у вигляді необхідних їм компетентностей) і визначається рядом трудомістких процесів (наприклад, редакторські роботи, які є обов'язковою складовою загального процесу проектування, створення, підготовки до видання та видання картографічних творів).

Галузеві технологічні виклики застосування ШІ є певними ризиками у системі методів досягнення результату геоінформаційного картографування та такими, що супроводжують такий процес. Важливі загрози цієї групи насамперед пов'язані:

- з розривом між можливостями та реаліями використання ШІ, що визначається появою нових функцій у відповідних засобах швидше, ніж забезпечується їхнє опанування фахівцями;

- з безпекою даних, нормам якої не завжди відповідає програмний код, написаний за допомогою інструментів ШІ, які використовуються у програмуванні фахово-орієнтованих задач;

- з відсутністю прогнозованого бачення напрямів та можливостей оптимізації навчального та дослідницького середовища внаслідок підвищення рівня автоматизації картографічних

робіт, зростання продуктивності праці під час їхнього виконання;

- зі збільшенням витрат на ресурси внаслідок роботи технологічного обладнання.

Окреслені виклики ШІ за визначеними у цій роботі групами можуть нести певні негативні наслідки під час формування та застосування компетентностей майбутніх галузевих фахівців.

Зважаючи на найвищий ступінь автоматизації, що зараз переживає картографічна галузь згідно дослідження [1], найголовнішим негативним результатом застосування інструментів ШІ за умови зміщення акценту на подальше зростання підвищеної уваги виключно до технологій автоматизованого картографування може стати зменшення цінності внеску розумових здібностей фахівця у процеси виконання завдань на різних їх етапах. За таких умов окремі сформовані компетентності можуть бути менш затребуваними, а у фахівця буде спадати задоволеність своєю працею як у моральному, так і у матеріальному плані.

Для дослідження цього питання та оцінювання наслідків негативного впливу засобів ШІ на формування компетентностей майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики на початку 2024 р. авторами цієї роботи було проведено анкетування здобувачів вищої освіти у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. У ньому взяло участь 30 студентів усіх курсів двох рівнів вищої освіти освітніх програм «Картографія, географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі» (перший (бакалаврський) рівень) і «Картографія та географічні інформаційні системи» (другий (магістерський)).

Студенти мали різний рівень здобутих фахових компетентностей у зв'язку з навчанням на різних рівнях і курсах, вивченням різної кількості навчальних компонент, у рамках яких вирішуються відповідні фахово-орієнтовані завдання з використанням усіх класів ШІ згідно із запропонованою у цій роботі їхньою класифікацією за відношенням до функціоналу програмних продуктів, у яких реалізовані можливості ШІ. Тому вони були розділені на три групи. Першу групу склали студенти бакалаврату, які навчалися на 1 та 2 курсах (10 осіб), другу — студенти 3 та 4 курсу бакалаврату (10 осіб), третю — студенти магістратури (10 осіб).

Тобто ідентифікація здобувачів була виключно за курсами та рівнями вищої освіти.

Анкетні запитання включили виклики застосування ШІ, які підлягали оцінці за допомогою кількісних показників та могли негативно впливати на формування фахових компетентностей під час навчання протягом 2022–2023 рр., розпочинаючи з періоду широкого впровадження генеративного ШІ в Україні (з початку 2022 р.) та подальшим розширенням номенклатури усіх засобів ШІ.

Виклики застосування ШІ входили до виділених нами чотирьох груп: етичного, організаційного, сутнісного та технологічного характеру.

Для кожної групи респондентів сформульовані питання були однаковими. Кожне питання необхідно було оцінити кількістю балів від 0 до 10 за принципом: 0 балів — негативний вплив відсутній, 10 — негативний вплив максимальний.

Індикаторами негативного впливу ШІ нами обрано: соціальну сегрегацію; відсутність емоційного інтелекту; зниження аналітичного мислення; побоювання щодо зменшення ролі або заміни фахівця при виконанні професійних завдань; неповне розуміння проблем та потенційних можливостей використання засобів ШІ, непередбачуваність результатів; надмірне ви-

користання технологій або суттєва залежність від них; відсутність дієвих засобів контролю за порушенням принципів доброчесності, поваги, підзвітності, відповідальності. По суті всі представлені індикатори характеризують виклики застосування засобів ШІ при формуванні фахових компетентностей здобувачів на ментальному рівні, тобто є елементами психологічного впливу на особистість.

До переліку питань анкети також було додано питання щодо малоймовірного негативного впливу засобів ШІ за усією сукупністю відповідних індикаторів.

Обробка відповідей у анкетах шляхом побудови нормованої гістограми з накопиченням для порівняння відсоткового внеску кожного значення до загальної суми (рис. 3) дала змогу візуалізувати структуру негативних впливів застосування засобів ШІ під час навчальної та дослідницької діяльності за визначеними індикаторами.

Аналіз гістограми розподілу (див. рис. 3) показав:

- незначне зростання рівня соціальної сегрегації при збільшенні рівня освіченості (послідовне зростання у визначених групах на 2–3 %) та несуттєвий її рівень у питомій вазі індикаторів негативного впливу ШІ (в середньому 10 %);

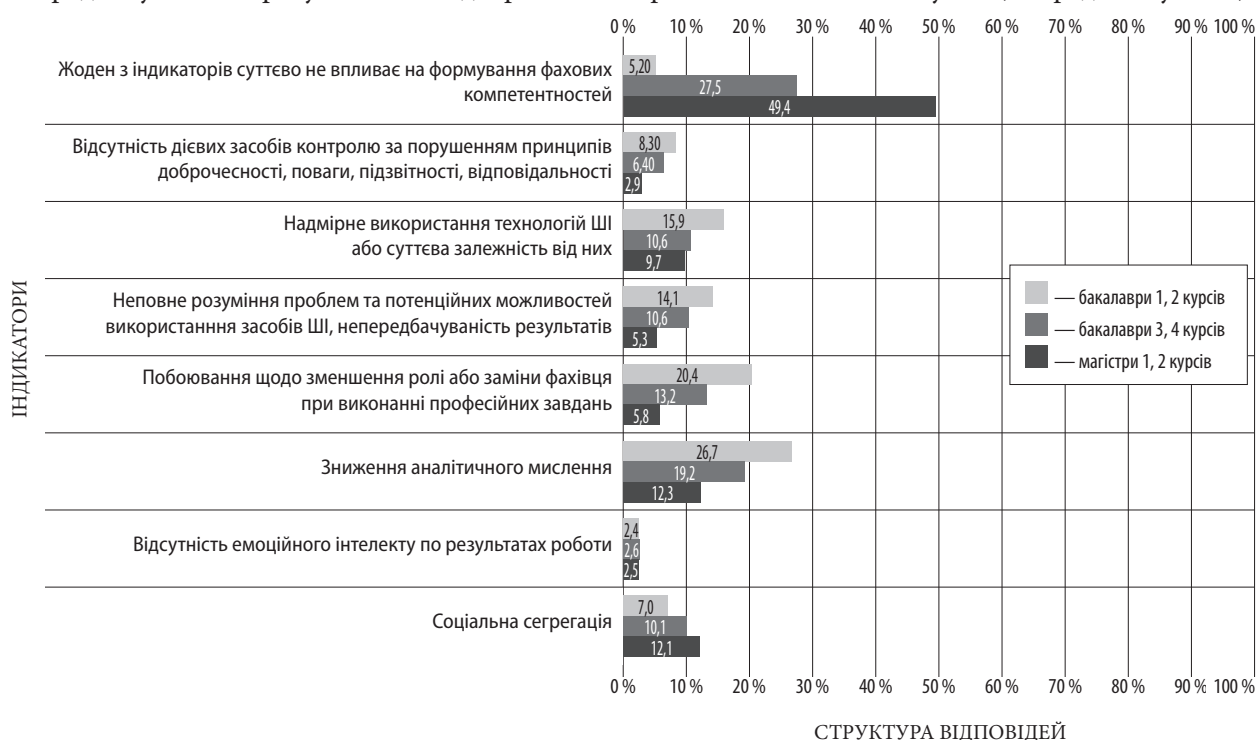


Рис. 3. Гістограма порівняння внеску індикаторів негативного впливу використання інструментів ШІ на формування фахових компетентностей здобувачів вищої освіти з картографії та геоінформатики (побудовано авторами)

- загальний позитивний тренд на підвищення рівня аналітичного мислення зі зростанням обсягів фахових компетентностей у здобувачів 3 та 4 курсів бакалаврату та 1, 2 курсів магістратури (орієнтовно на 6 % по відношенню до попередньої групи респондентів);

- більшу впевненість здобувачів старших курсів щодо важливості ролі саме фахівця в одержанні результатів роботи (виконаного навчального чи дослідницького завдання), а не його заміни засобами ШІ (зафіксована позитивна динаміка такого висновку зі збільшенням у середньому на 7 % у категорії здобувачів 3 та 4 курсів бакалаврату по відношенню до студентів 1 та 2 курсів бакалаврату, здобувачів 1 та 2 курсів магістратури — студентів 3 та 4 курсів бакалаврату);

- зростання у середньому на 5 % по відношенню до респондентів попередніх груп рівня розуміння потенційних можливостей інструментів ШІ (усіх можливих груп / класів), спроможності проведення аналізу одержаних варіантів для зменшення непередбачуваних результатів;

- зменшення суттєвої залежності від технологій ШІ, розуміння необхідності застосування принципів доброчесності, поваги, підзвітності, відповідальності при зростанні фахових компетентностей здобувачів;

- наявність або відсутність емоційного інтелекту жодним чином не впливає на результат виконаних завдань за допомогою ШІ (середній показник складає 2,5 %).

У той же час важливо відмітити, що здобувачі магістерського ступеня з майже 50 % впевненістю вказали у відповідях, що жоден з індикаторів, який визначав негативні виклики застосування ШІ на момент проведення опитування, суттєво не вплинув на рівень формування їхніх фахових компетентностей. А це по суті означає, що володіння функціоналом ШІ стає важливою базовою навичкою у переліку компетентностей майбутніх картографів та геоінформатиків.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження на основі розробленого підходу проведено класифікацію

інструментів ШІ для використання в навчальному процесі та наукових дослідженнях при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

Ознакою класифікації засобів ШІ визначено відношення до функціональних можливостей програмних продуктів, які можуть забезпечувати реалізацію задач автоматизації картографічних робіт. Запропоновано виділити три класи відповідних інструментів: вбудовані у програмне забезпечення засоби ШІ з фіксованими алгоритмами їх роботи та одержання передбачуваного результату; вбудовані у програмне забезпечення інструменти ШІ з можливістю навчання з одержанням як передбачуваного, так і непередбачуваного результату; незалежні від програмних продуктів засоби ШІ, які можуть виконувати завдання по роботі з просторовими даними та одержанням непередбачуваного результату.

Виокремлено чотири групи наявних викликів використання інструментів ШІ у картографії та геоінформатиці (етичні, організаційні, сутнісні, технологічні), оцінено їхній вплив на здобувачів за допомогою побудованої нормованої гістограми з накопиченням для порівняння відсоткового внеску кожного значення визначеного індикатора негативного впливу засобів ШІ до загальної суми. Встановлено, що з досвідом використання засобів ШІ у процесі вирішення фахових завдань, негативний вплив суттєво зменшується, а відповідні засоби стають важливою базовою навичкою у переліку компетентностей сучасних картографів і геоінформатиків.

Перспективним напрямом дослідження вважається моніторинг інструментів ШІ та викликів щодо їхнього використання під час формування фахових компетентностей здобувачів з картографії та геоінформатики на діючих освітніх програмах ЗВО України.

Новизна дослідження полягає в тому, що авторами вперше систематизовано сучасні виклики використання засобів ШІ та здійснено оцінку наслідків їхнього негативного впливу на формування фахових компетентностей у процесі підготовки вітчизняних здобувачів з картографії та геоінформатики.


### References [Література]

1. Bondarenko, E., & Dudun, T. (2025). The application of artificial intelligence systems in the training of specialists in cartography and geoinformatics in Ukraine. *Inform. technologies and learning tools*. 2(106), 192–210. [In Ukrainian].

- [Бондаренко Е., Дудун Т. (2025). Застосування систем штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні. *Інформ. технології та засоби навчання*. 2(106), 192–210]. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v106i2.6008>
2. Kang, Y., Gao, S., & Roth, R. E. (2024). Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics. *Cartogr. Geographic Inf. Sci.* 4(51), 599–630. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2295943>.
  3. Lin, Y., & Zhao, B. (2025). Posthuman Cartography? Rethinking Artificial Intelligence, Cartographic Practices, and Reflexivity. *Ann. Amer. Assoc. Geographers.* 1(115), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1080/24694452.2024.2435920>.
  4. Zhang, Y., He, Z., Li, J., Lin, J., Guan, Q., & Yu, W. (2024). MapGPT: an autonomous framework for mapping by integrating large language model and cartographic tools. *Cartogr. Geographic Inf. Sci.* 6(51), 717–743. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2024.2404868>.
  5. Oluoch, I. (2024). Crossing Boundaries: The Ethics of AI and Geographic Information Technologies. *ISPRS International Journal of Geo-Information.* 3(13), 1–27. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi13030087>.
  6. Edler, D., Drews, J., Berr, K., & Kühne, O. (2025). Fallibilism and Generative AI in Cartography: Some Fundamental Theoretical Thoughts. *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.* 1(75). DOI: <https://doi.org/10.1007/s42489-025-00186-0>.
  7. Xing, J., & Sieber, R. (2023). The challenges of integrating explainable artificial intelligence into GeoAI. *Transactions in GIS.* 3(27), 626–645. DOI: <https://doi.org/10.1111/tgis.13045>.
  8. Morse, N. V., Korshun, N. V., Astafieva, M. M., Bushma, O. V., Proshkin, V. V., Sokolov, V. Yu. & Yaskovich, V. O. (2024). *Challenges and threats of using artificial intelligence tools in the educational process and scientific research: Analytical reference*. Kyiv: Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, 9 p. [In Ukrainian]. [Морзе Н. В., Коршун Н. В., Астаф'єва М. М. та ін. (2024). *Виклики та загрози використання інструментів штучного інтелекту в освітньому процесі та наукових дослідженнях: Аналітична довідка*. Київ: Київський столичний університет імені Бориса Грінченка. 9 с.]
  9. Gurevich, R., Konoshevsky, L., Konoshevsky, O., Voevoda, A., & Lyulchak, S. (2024). Integration of artificial intelligence into the sphere of education: problems, challenges, threats, prospects. *Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 72, 170–186. [In Ukrainian]. [Гуревич Р., Коношевський Л., Коношевський О. та ін. (2024). Інтеграція штучного інтелекту в сферу освіти: проблеми, виклики, загрози, перспективи. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, 72, 170–186.]. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-170-186>.
  10. Artificial Intelligence in Higher Education Institutions. (2025). *Recommendations for Teachers, Students and Employees of Higher Education Institutions*. Kyiv: Ministry of Education and Science of Ukraine. [In Ukrainian]. [Штучний інтелект у закладах вищої освіти. Рекомендації для викладачів, студентів і працівників ЗВО. Київ: Міністерство освіти і науки України, 2025.]. URL: <https://mon.gov.ua/news/shtuchnyi-intelekt-u-zakladakh-vyshchoi-osvity-rekomendatsii-dlia-vykladachiv-studentiv-i-pratsivnykiv-zvo>
  11. *On Higher Education*. (2014). *Law of Ukraine*. No. 1556-VII, edition dated June 01 2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18?lang=en#Text>.
  12. Bondarenko, E. L., & Dudun, T. V. (2023). Higher Education in Cartography During the Years of Independence of Ukraine: Status, Problems and Prospects. *Ukr. Geogr. Zh.* 4, 64–76. [In Ukrainian]. [Бондаренко Е. Л., Дудун Т. В. Вища освіта з картографії за роки незалежності України: стан, проблеми та перспективи. *Укр. геогр. журн.*, 4, 64–76.]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.04.064>.
  13. *On Amendments to the List of Fields of Knowledge and Specialties in Which Applicants for Higher and Professional Pre-Higher Education are Trained* (2024). *Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine*. No. 1021-2024-p. dated August 30 2024. [In Ukrainian]. [Про внесення змін до переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої та фахової передвищої освіти. (2024). *Постанова Кабінету Міністрів України № 1021-2024-п*. від 30.08.2024.]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1021-2024-%D0%BF#Text>.
  14. *International standard classification of education*. (2015). Fields of education and training 2013 (ISCED-F 2013). Detailed field descriptions. UNESCO Institute for Statistics, 96 p. URL: <https://www.uis.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2025/04/international-standard-classification-of-education-fields-of-education-and-training-2013-detailed-field-descriptions-2015-en.pdf>.
  15. Ekwere, P. (2024). *Types of AI: how are they classified?* URL: <https://www.icaew.com/insights/viewpoints-on-the-news/2024/nov-2024/types-of-ai-how-are-they-classified>.
  16. Types of Artificial Intelligence (AI). (2024). Geeks for Geeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/artificial-intelligence/types-of-artificial-intelligence/>.
  17. *4 Types of AI: Getting to Know Artificial Intelligence*. (2024). Coursera. URL: <https://www.coursera.org/articles/types-of-ai>
  18. Betz, S. (2024). *7 Types of Artificial Intelligence*. URL: <https://builtin.com/artificial-intelligence/types-of-artificial-intelligence>.
  19. *A Framework to Understand AI: Classification of Tools and Impact*. (2024). Digital Education Council. URL: <https://www.digitaleducationcouncil.com/post/a-framework-to-understand-ai-classification-of-tools-and-impact>.

**Стаття надійшла до редакції 09.08.2025, прийнята до друку 06.02.2026.**

Bondarenko, E. L.

 0000-0002-2295-146X,

Dudun, T. V.

 0000-0002-9960-9793

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

## Modern Challenges of the Use of Artificial Intelligence Tools in the Learning of Cartography and Geoinformatics Specialists in Ukraine

UDC 528.9:37:004.8(477)(045)

The article is devoted to identifying contemporary challenges associated with the use of artificial intelligence (AI) tools and to evaluating their impact on the development of professional competencies in the training of students majoring in cartography and geoinformatics at institutions of higher education in Ukraine. To this end, the authors have examined existing classifications of AI tools based on various criteria and formulated a set of essential requirements that such tools must fulfill to effectively address industry-specific tasks. For the purpose of grouping AI tools applicable to professionally oriented tasks in cartography and geoinformatics, the authors adopted the criterion of their relation to the functionality of software products capable of automating various cartographic processes through the application of AI technologies. Three classes of AI tools were delineated: tools embedded within software products employing fixed algorithms that yield predictable results; tools integrated into software products capable of learning, thereby generating both predictable and unpredictable outcomes; tools independent of specific software products, which facilitate the processing of spatial data and produce outcomes that may be unpredictable. To identify the list of current challenges associated with the use of AI tools in cartography and geoinformatics, the general criteria for categorizing their impact on the higher education process (automation; opening up new opportunities; personalization; forecasting; and expanding the categories of applicants) were taken into account and subsequently adapted and expanded by the authors in accordance with the specific focus of educational and scientific tasks. Four principal groups of challenges pertaining to the deployment of AI tools in cartography and geoinformatics within Ukraine were identified: ethical, organizational, substantive, and technological challenges. The potential adverse effects of these challenges on the preparation of contemporary industry specialists were assessed by means of a normalized cumulative histogram. The assessment employed the following indicators: social segregation; insufficient development of emotional intelligence; decline in analytical thinking; concerns regarding the marginalization or replacement of professionals in performing specialized tasks; incomplete understanding of the nature and potential of AI tools; unpredictability of outcomes; excessive dependence on technological solutions; and the absence of robust mechanisms to ensure integrity, respect, accountability, and responsibility. Additionally, the questionnaire incorporated an item regarding the improbable negative impact of AI tools across the entirety of these indicators. The findings indicate that as practitioners gain experience in employing AI tools to address professional tasks, the associated negative effects are markedly diminished, and such tools become an integral component of the competency framework requisite for contemporary cartography and geoinformatics professionals. The objective of the study was attained through the application of an appropriate methodological framework comprising methods of analysis, synthesis, classification, induction, deduction, comparison, and evaluation, all of which were integrated within a systematic approach to facilitate a comprehensive examination of diverse aspects pertaining to the implementation of modern AI tools. The scientific contribution of this research consists of the fact that, for the first time, the contemporary challenges related to the utilization of AI tools have been systematized and classified in accordance with their relation to the functionality of software products designed to automate various cartographic processes within the context of training future specialists in cartography and geoinformatics in Ukraine.

**Keywords:** artificial intelligence tools; cartography; geoinformatics; classification of AI tools; challenges of using AI tools; professional competencies.

### For citation:

Bondarenko, E. L., Dudun, T. V. (2026). Modern challenges of the use of artificial intelligence tools in the learning of cartography and geoinformatics specialists in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 86–101. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.086>

Copyright © 2026 Publishing House *Akademperyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.102>

**Nurgazina, A.<sup>1</sup>**  
**Sergeeva, A.<sup>2</sup>**  
**Omirzakova, M.<sup>3</sup>**

0000-0002-1020-5283,  
 0000-0002-6821-8773,  
 0000-0003-3804-356X,

**Ravshanov, A.<sup>4</sup>**  
**Ibragimov, L.<sup>4</sup>**  
**Usmanov, M.<sup>4</sup>**

0009-0002-5249-878X,  
 0000-0002-1524-8469,  
 0000-0002-7009-8053

<sup>1</sup> "Zhetysu University" named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

<sup>2</sup> L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup> K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

<sup>4</sup> Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan

## Barriers and Drivers of Artificial Intelligence Integration in Geographical Education: A Comparative Study of Kazakhstan and Uzbekistan

UDC 37.091.3:91]:004.8(574+575.1)(045)

The study aims to identify the key barriers and drivers of artificial intelligence (AI) integration in geographical education through a comparative analysis of Kazakhstan and Uzbekistan, where digital transformation processes develop in parallel but differ in institutional and pedagogical orientation. A mixed-methods approach was applied, combining document analysis of national education digitalization policies with an online survey of 966 educators (471 from Kazakhstan and 495 from Uzbekistan), including schoolteachers, college instructors, and university lecturers. The analysis focused on levels of digital competence, institutional readiness, and practical integration of AI tools in teaching geography. The findings reveal notable cross-country differences. Kazakhstan demonstrates a practice-oriented approach emphasizing digital pedagogy, interactive mapping, and applied use of AI in spatial analysis. Uzbekistan, in contrast, prioritizes the development of academic infrastructure and research platforms for AI. Common barriers include weak Internet connectivity in rural areas, limited teacher training, lack of methodological frameworks, and psychological resistance to innovation. However, strong drivers are evident—state support for digital education, the spread of geospatial analytics, and the emergence of AI-based tools for spatial modeling and personalized learning. The study provides one of the first comparative assessments of AI adoption in geographical education across Central Asia. It conceptualizes AI not as a replacement for teachers but as an intelligent partner that enhances research thinking, spatial imagination, and cognitive autonomy, laying the foundation for sustainable digital transformation of geographical education.

**Keywords:** *artificial intelligence; geographical education; digitalization; digital literacy; Kazakhstan; Uzbekistan.*

### Introduction

The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies in recent years has had a significant impact on educational systems worldwide, transforming teaching methods, forms of teacher–student interaction, and the content of academic disciplines. In the context of educational digitalization, the integra-

tion of AI into the teaching of geography has gained particular importance. Geographical education in the era of AI goes beyond traditional cartography and regional studies, evolving into an interdisciplinary platform that integrates geoinformatics, analytical technologies, and pedagogical innovations [1, 2].

Kazakhstan and Uzbekistan, as leading Central Asian nations, are undergoing comparable stages of

#### For citation:

Nurgazina, A., Sergeeva, A., Omirzakova, M., Ravshanov, A., Ibragimov, L., & Usmanov, M. (2026). Barriers and Drivers of artificial intelligence integration in Geographical education: a comparative Study of Kazakhstan and Uzbekistan. *Ukrainian Geographical Journal*. 1, 102–115. [in English]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.102>

Copyright © 2026 Publishing House *Akademperrydyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.

The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

digital transformation in their educational systems. For both countries, the integration of artificial intelligence (AI) into education represents a strategic priority. Educational digitalization is embedded in national policy agendas—reflected in Kazakhstan’s Digital Kazakhstan and National Education Development Project and Uzbekistan’s Digital Uzbekistan 2030 Strategy and Artificial Intelligence for Sustainable Development Program. However, the countries differ in their levels of infrastructural readiness, teacher qualification, and institutional support for innovation, leading to uneven adoption of AI tools—particularly in disciplines that require high levels of visualization and data analytics, such as geography.

Contemporary global challenges—such as climate change, urbanization, spatial inequality, and natural resource conflicts—underscore the growing importance of geographical education as a tool for fostering environmental awareness and spatial literacy. The integration of AI technologies, including machine learning, satellite data analysis, geoinformation services, and ChatGPT-like models, creates new opportunities for teaching research methods, spatial analysis, and digital cartography. However, these opportunities are often constrained by the lack of methodological frameworks, pedagogical competencies, and institutional support.

**The purpose of this study** is to identify and classify the key barriers and drivers of artificial intelligence integration in geographical education in Kazakhstan and Uzbekistan, as well as to determine strategic directions for enhancing the effectiveness of its implementation.

### Analysis of previous research

In recent years, artificial intelligence (AI) has emerged as one of the key technological paradigms shaping the evolution of modern education. Scholars emphasize that the application of AI opens new possibilities for learning personalization, adaptive assessment systems, and intelligent teacher support. The integration of AI into the educational process is accompanied by the continuous improvement of pedagogical practices, contributing to a sustainable increase in the quality of education [3].

Among the most significant directions of AI integration in education are generative AI technologies, virtual and augmented reality, and intelligent data analysis systems [4–5]. These innovations foster the development of learners’ self-organization, crit-

ical thinking, and interdisciplinary collaboration skills. AI effectively supports project-based and research-oriented learning, shaping 21st-century competencies among future educators [6–8].

Contemporary literature places particular emphasis on the potential of AI in geographical and environmental education. Chang and Kidman [9] view the emergence of generative language models as both a challenge and an opportunity to reconsider methods of teaching geography and environmental studies. Lee [10] highlights the necessity of a comprehensive integration of advanced technologies, including geoinformation services and modeling systems, into the learning process. Similarly, Ahmed [11] underscores the role of artificial intelligence in the development of intelligent geographic information systems (AI-GIS) for spatial data analysis.

A significant contribution to understanding the role of AI in geographical education has been made by studies focusing on the use of Web-GIS and digital cartographic platforms for educational purposes [12–14], as well as on assessing the potential of ChatGPT for teaching spatial analysis [15]. Lee et al. [16] examine the transformation of geography curricula and teaching methodologies under the influence of generative technologies, including automated assessment and the enhancement of fieldwork practices. Wilby and Esson [17] introduce the concept of AI literacy in geographical education, emphasizing the importance of developing a critical attitude toward the use of AI and fostering students’ digital competence [18–20].

Similar trends are observed in the higher education system of Kazakhstan, where educators demonstrate a strong interest in adopting and applying artificial intelligence technologies in the teaching process [21–22]. However, there remains a shortage of methodological resources, practical guidelines, and digital tools tailored to the content of educational programs. This limits the effectiveness of AI integration in teaching and constrains the development of students’ digital and analytical competencies essential for contemporary geographical science.

The regional context of Kazakhstan and Uzbekistan is gradually reflected in academic literature. National methodological recommendations highlight the importance of adapting AI tools to subject-specific content, including geography, through the development of application scenarios involving digital maps, satellite data, and machine learning platforms.

Despite the growing body of literature on the digitalization of education, comparative studies across Central Asian countries remain limited. Factors influencing the successful implementation of artificial intelligence—such as technical, human, institutional, and sociocultural dimensions—have not yet been sufficiently explored. For the sustainable development of the region's educational systems, empirical evidence is required to capture the specificity of national contexts and to identify opportunities for the exchange of best practices.

### Research Methods

The study on the barriers and drivers of artificial intelligence (AI) integration into geographical education in Kazakhstan and Uzbekistan was conducted using a mixed methods design that combined qualitative and quantitative approaches. This framework enabled the comparison of institutional conditions and pedagogical practices with the empirical assessments of participants in the educational process.

The methodological framework of the research included the following methods:

- *Document analysis*—examination of national policy documents and strategic programs regulating digital transformation and AI development in Kazakhstan and Uzbekistan, as well as academic publications on educational digitalization;
- *Comparative analysis*—identification of similarities and differences in institutional conditions, regulatory frameworks, and educational practices related to AI implementation in the two countries;
- *Online survey*—empirical data collection through a structured questionnaire (Google Forms) consisting of 12 items organized into thematic blocks;
- *Statistical processing of quantitative data*—descriptive statistical analysis of survey responses to identify dominant trends, barriers, and drivers of AI integration.

Within the framework of document analysis, the primary sources included national development programs of the Republic of Kazakhstan and the AI Technology Development Strategy 2030 of the Republic of Uzbekistan. This stage enabled the identification of key policy directions and institutional challenges in integrating AI into geographical education.

The empirical phase was conducted through an online survey involving geography teachers, graduate students, and representatives of the academic

community. The questionnaire was structured into four thematic blocks: (1) awareness of AI; (2) frequency and forms of use; (3) barriers and limitations; and (4) perceived potential of AI for improving geography teaching. The survey was administered in three languages—Kazakh, Russian, and Uzbek—to ensure linguistic representativeness.

A total of 966 respondents participated in the survey (Kazakhstan—471; Uzbekistan—495). The majority were secondary school teachers (82.1% and 80.0%, respectively), allowing for an assessment of practices at the basic education level, while the inclusion of college and university representatives ensured vertical coverage of the entire education system. The sample comprised educators with experience in teaching geography and an interest in applying AI in educational practice. The distribution of respondents is presented in *Tab.1*.

The majority of respondents were secondary school teachers (82.1% in Kazakhstan and 80.0% in Uzbekistan). The participation of representatives from higher education institutions and colleges expanded the scope of the analysis, encompassing all levels of the educational system. All respondents were informed about the purpose of the study and the use of data exclusively for research purposes. The study adheres to the principles of academic ethics and confidentiality. The combination of document analysis and a large-scale survey ensured the comparability and reproducibility of results, which were essential for identifying the institutional and pedagogical factors that both hinder and promote the integration of artificial intelligence into geographical education in the two countries.

The integration of artificial intelligence into educational systems in Kazakhstan and Uzbekistan is embedded within broader national digitalization strategies. In Kazakhstan, AI development is supported by the “Digital Kazakhstan” program and subsequent national initiatives aimed at fostering digital transformation in education. Regulatory discussions increasingly address issues of academic integrity, particularly in relation to plagiarism detection systems, automated content generation, and the ethical use of AI-based tools in higher education institutions. The Law on Education and institutional academic integrity codes emphasize originality, independent work, and transparency in the use of digital technologies.

In Uzbekistan, AI implementation is guided by the “Digital Uzbekistan 2030” Strategy and the

**Table 1. Distribution of respondents by teaching experience (n = 966)**

Characteristics	Kazakhstan (n = 471)	Uzbekistan (n = 495)
<b>Gender</b>		
Male	102	120
Female	369	375
<b>Teaching experience</b>		
Less than 1 year	15	7
1–3 years	44	37
4–7 years	85	97
8–10 years	102	106
11–15 years	115	121
16–20 years	81	91
More than 20 years	29	36
<b>Type of educational institution</b>		
Secondary schools	387	396
Colleges	12	19
Universities	72	80

“Artificial Intelligence for Sustainable Development” Program. Similar to Kazakhstan, regulatory documents highlight digital modernization but provide limited detailed guidance regarding the ethical use of generative AI in academic settings. Academic integrity policies in Uzbek universities primarily focus on plagiarism prevention and research ethics, while explicit regulation of AI-assisted content creation remains underdeveloped.

A comparative analysis demonstrates that both countries recognize AI as a strategic development priority; however, regulatory mechanisms governing its responsible use in education are still evolving. In both contexts, there exists a normative gap between rapid technological adoption and clearly articulated standards of academic integrity concerning AI-generated content. This gap creates institutional uncertainty and may contribute to inconsistent practices among educators and students.

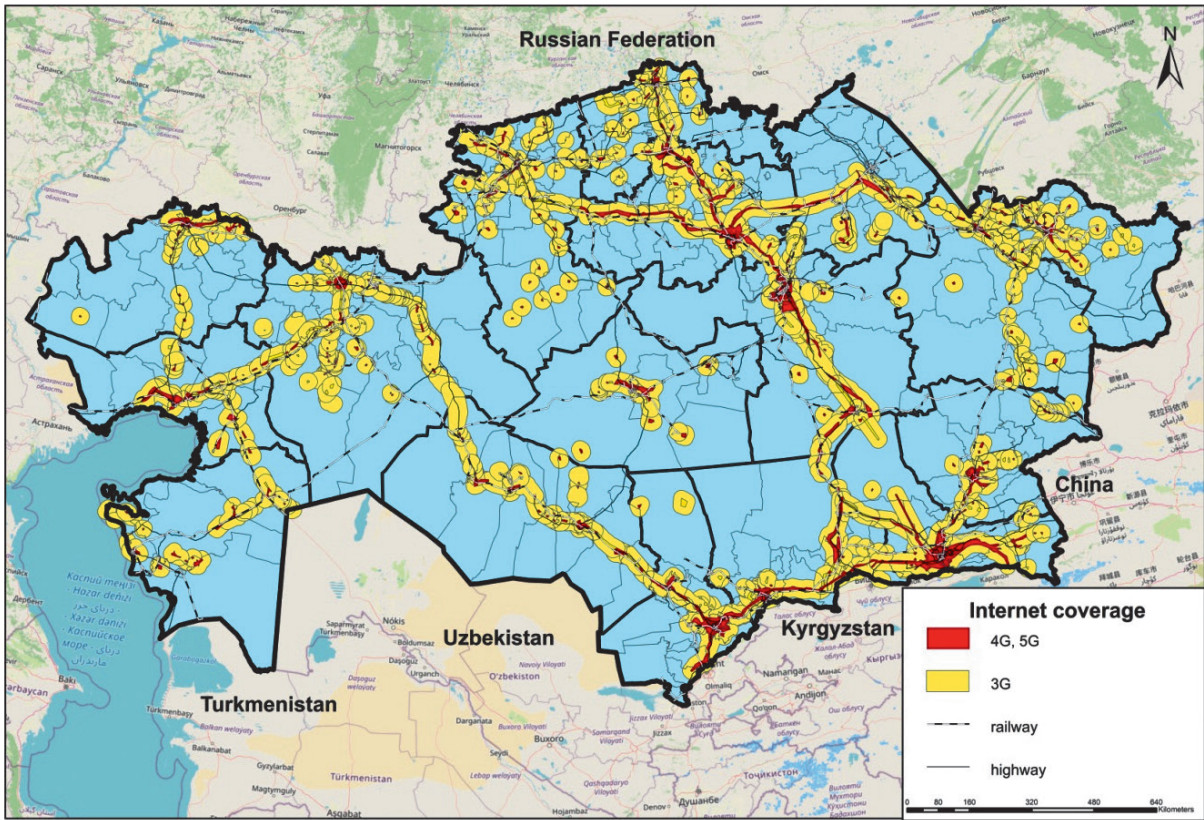
### Results and Discussion

One of the key infrastructural barriers to the integration of artificial intelligence into geographical education remains the uneven development of communication networks and the limited availability of high-speed Internet. Despite the active expansion of 4G technologies and the partial introduction of 5G in Kazakhstan and Uzbekistan, a significant portion of rural and remote areas still experience

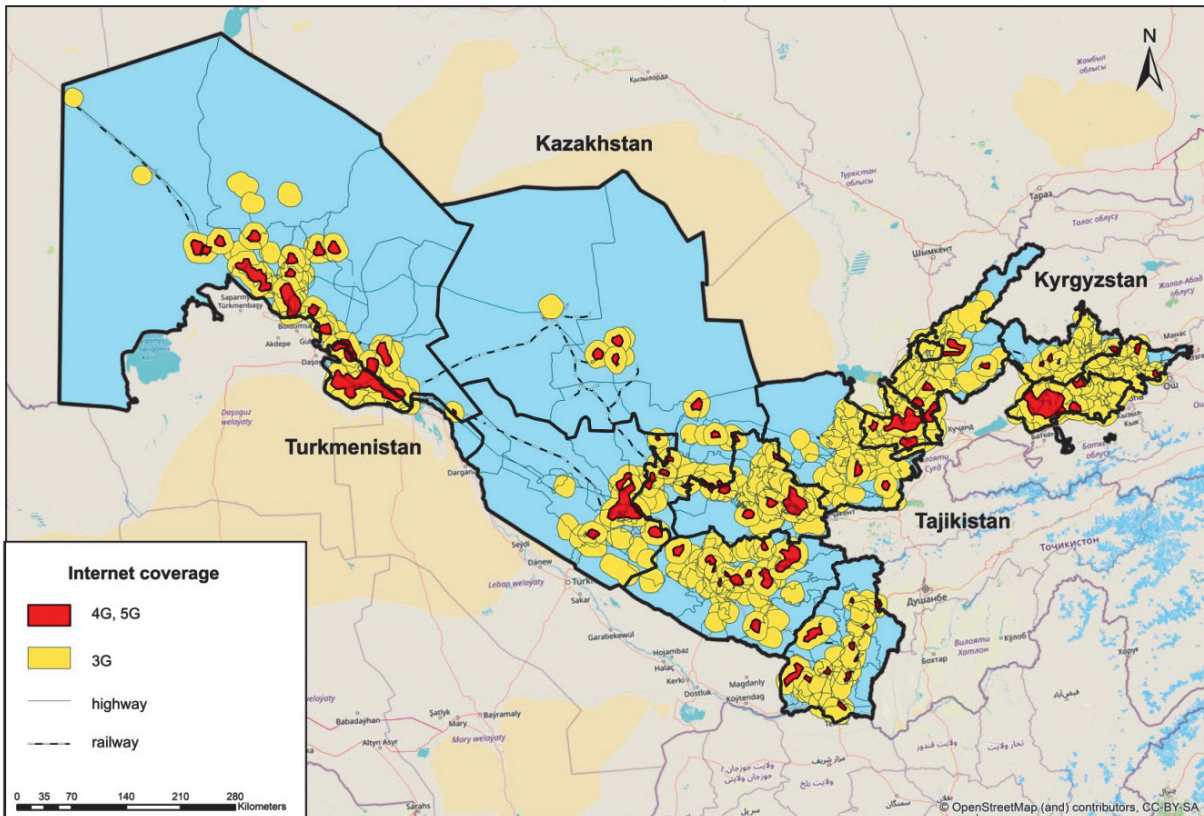
weak signal coverage or lack connectivity altogether. This situation complicates the use of cloud services, online platforms, and geographic information systems, which constitute the foundation of digital educational technologies and AI-based tools (*Fig. 1*).

One of the conceptually significant aspects of the study concerns the degree of cognitive and practical adoption of artificial intelligence (AI) technologies by the teaching community within the educational process. The empirical data reveal a pronounced cross-country differentiation in the level of digital competence. In Kazakhstan, the dominant group of respondents (190 individuals) demonstrated not only a declarative understanding of AI functioning principles but also partial operationalization of these tools in pedagogical practice. In Uzbekistan, a comparable group (110 individuals) exhibited a lower degree of institutional AI integration, reflecting the relative inertia of digital transformation within the educational environment.

A separate analysis concerns the cohort of teachers characterized by episodic or superficial use of intelligent technologies. In Uzbekistan, this group is predominant (176 individuals), while in Kazakhstan its size is smaller (131 individuals). This distribution illustrates the difference in the pace of transition from declarative awareness to instrumental and practical application of AI. Notably, in Kazakhstan, the proportion of teachers with only basic familiarity with AI (56 individuals) or com-



(a) Spatial distribution of Internet coverage in Kazakhstan



(b) Spatial pattern of Internet connectivity across Uzbekistan

**Fig. 1.** Internet coverage and spatial inequality of digital infrastructure in Kazakhstan and Uzbekistan.  
 Source: This map was created by the author based on data from the nPerf website (Coverage Map section) [24].

pletely unaware of its capabilities (35 individuals) is significantly lower than in Uzbekistan (112 and 51, respectively). These findings empirically confirm a higher level of digital adaptability and professional-practical readiness among Kazakhstani educators.

A promising direction for the use of AI lies in the field of geographical education, where intelligent systems enable the implementation of interactive mapping services, automated geospatial analysis procedures, and intelligent assessment of learning tasks. According to the survey results, 159 respondents from Kazakhstan and 103 from Uzbekistan recognize the substantial potential of AI in enhancing the educational process. In addition, 80 and 69 respondents, respectively, noted the opportunities for personalized learning, in which algorithms adapt to learners' cognitive trajectories and levels of knowledge acquisition.

Nevertheless, a persistent skeptical discourse remains regarding the pedagogical relevance of artificial intelligence. In Uzbekistan, 142 respondents, and in Kazakhstan, 93 respondents, expressed doubts about its practical effectiveness, pointing to the limitations of simulated interaction compared to authentic pedagogical engagement. Furthermore, a considerable proportion of participants (111 in Kazakhstan and 138 in Uzbekistan) emphasized the irreplaceable role of the teacher as a mediator of knowledge and a formative agent of the educational experience. Equally noteworthy is the segment of educators (28 in Kazakhstan and 43 in Uzbekistan) who voiced concern over the potential reduction of students' critical thinking and empirical skills as a result of the excessive integration of AI.

These positions highlight the necessity of hybridizing educational strategies—a synergistic combination of traditional field-based learning and intelligent technologies—to maintain a balance between cognitive autonomy and the technological mediation of the learning environment.

#### *Use of Digital and Intelligent Technologies in Geography Teaching*

The current stage of geographical education development is characterized by intensive digitalization, accompanied by the integration of geoinformation, multimedia, and artificial intelligence technologies into the pedagogical process. The use of digital tools ensures multidimensional representation of spatial data, promotes the development of students' ana-

lytical thinking, and fosters competencies aligned with the demands of the digital transformation era.

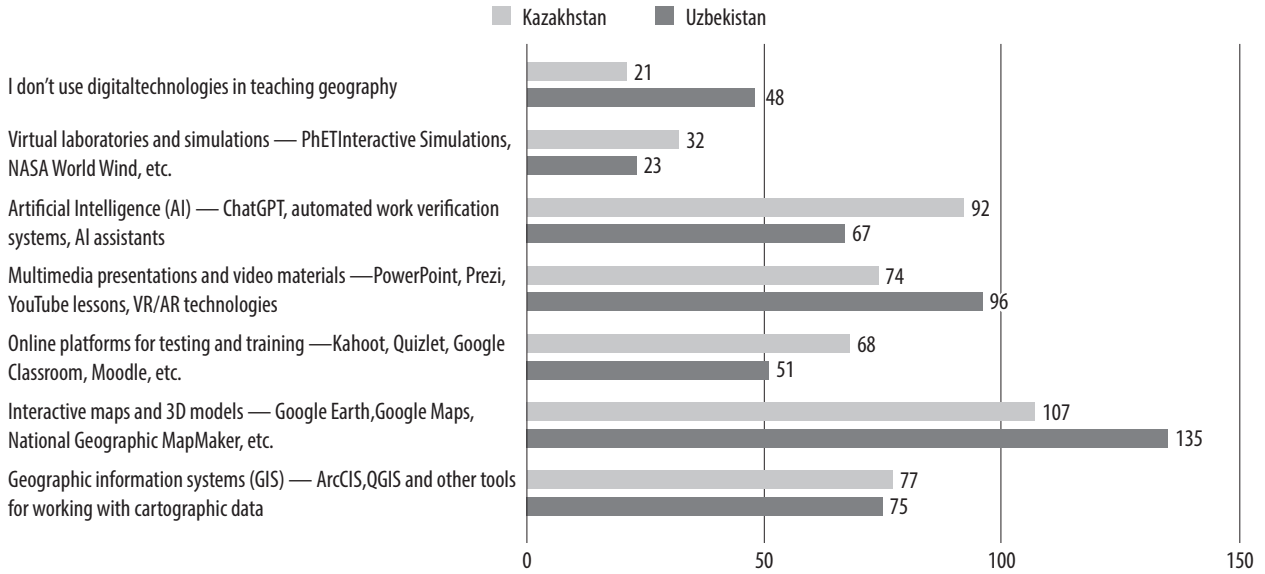
The survey results indicate the widespread use of interactive mapping services and three-dimensional models (such as Google Earth, Google Maps, and National Geographic MapMaker), which are actively employed by 107 teachers in Kazakhstan and 135 in Uzbekistan. This highlights the significant potential of geoinformation systems as a key means of visualizing and modeling spatial phenomena within the educational environment. In addition, multimedia presentations and video materials are used by 74 and 96 respondents, respectively, reflecting a growing emphasis on the visual and communicative components of the learning process.

A relatively lower level of integration is observed in the use of online platforms for testing and distance learning (such as Kahoot, Quizlet, Google Classroom, and Moodle), which are employed by 68 teachers in Kazakhstan and only 51 in Uzbekistan. This imbalance may be attributed to disparities in infrastructural capacity and differences in the level of digital readiness among educational institutions. The use of AI assistants and automated grading systems was reported by 92 teachers in Kazakhstan and 67 in Uzbekistan, indicating the gradual penetration of intelligent technologies into the practice of geographical education. Meanwhile, virtual laboratories and simulation environments (PhET, NASA World Wind) remain limited in use—32 and 23 users, respectively—suggesting restricted accessibility and insufficient methodological integration.

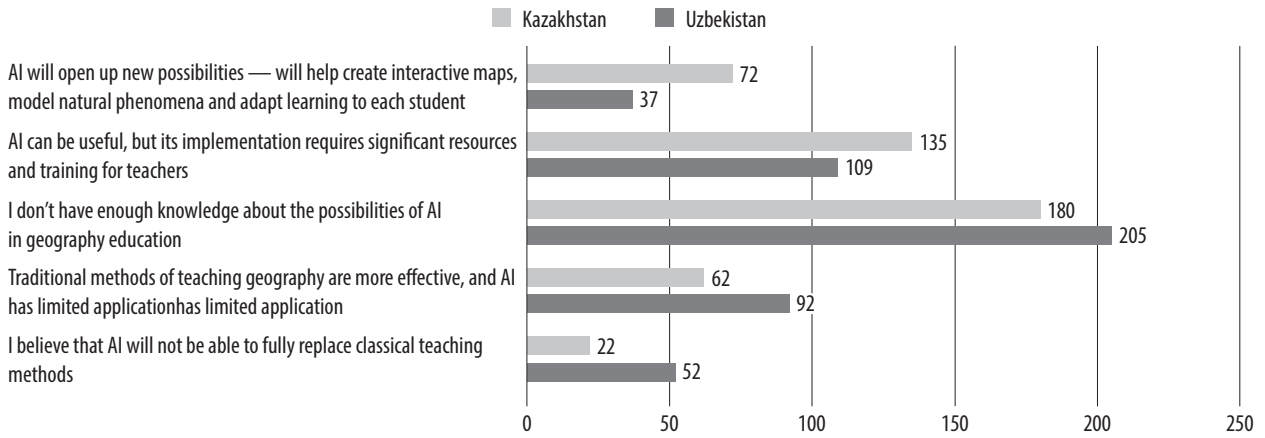
It is noteworthy that in Uzbekistan, 48 teachers reported not using any digital technologies at all, which is twice as many as in Kazakhstan (21). This highlights an institutional and technological gap and the uneven pace of digitalization processes within the educational landscape.

#### *Teachers' Attitudes Toward the Potential of Artificial Intelligence*

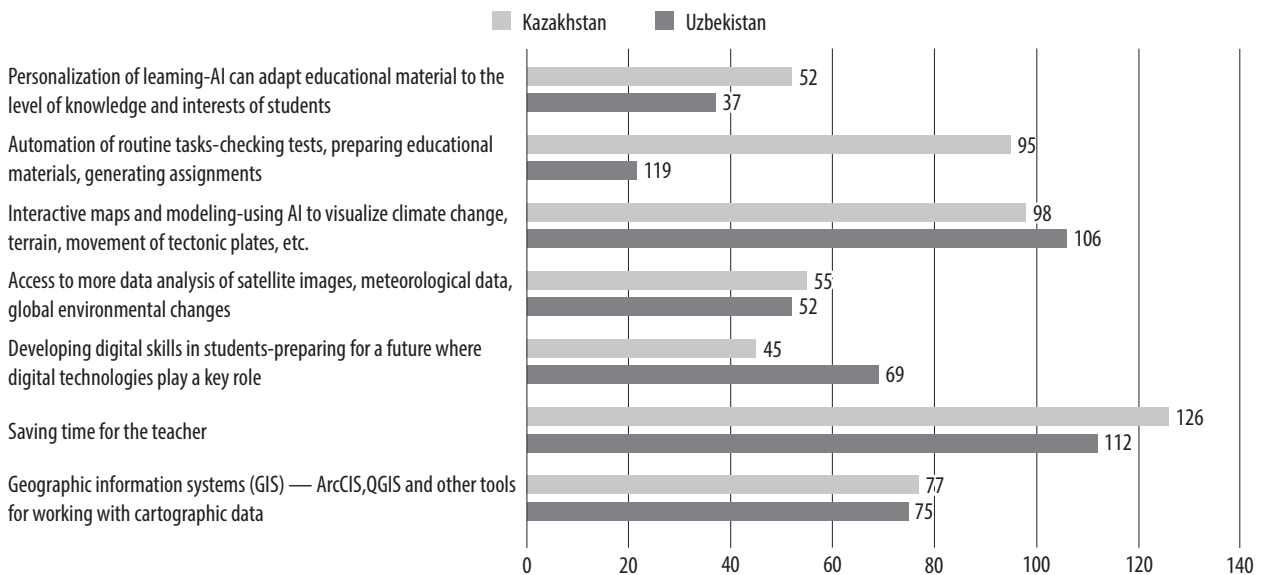
Despite the growing interest in the intellectualization of the educational process, there remains a shortage of knowledge and methodological readiness among teachers for the practical application of AI tools (180 respondents in Kazakhstan and 205 in Uzbekistan). This trend underscores the relevance of professional development programs aimed at fostering digital-pedagogical competencies. At the same time, 135 teachers in Kazakhstan



(a) Digital technologies are used in the educational process of teaching geography

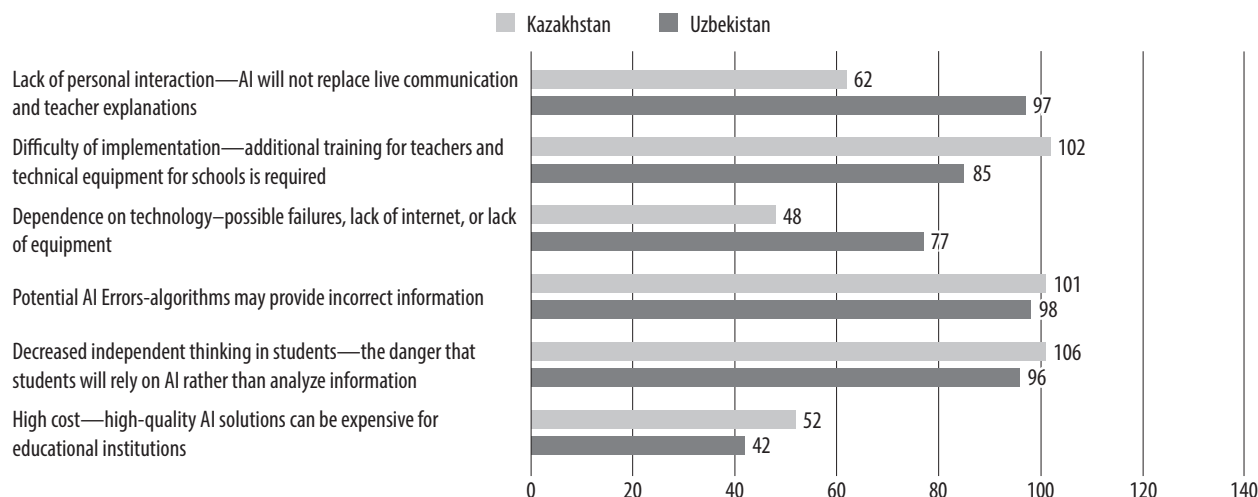


(b) The potential of artificial intelligence lies in the creation of interactive maps, the modeling of geographical processes, and the personalization of the educational process

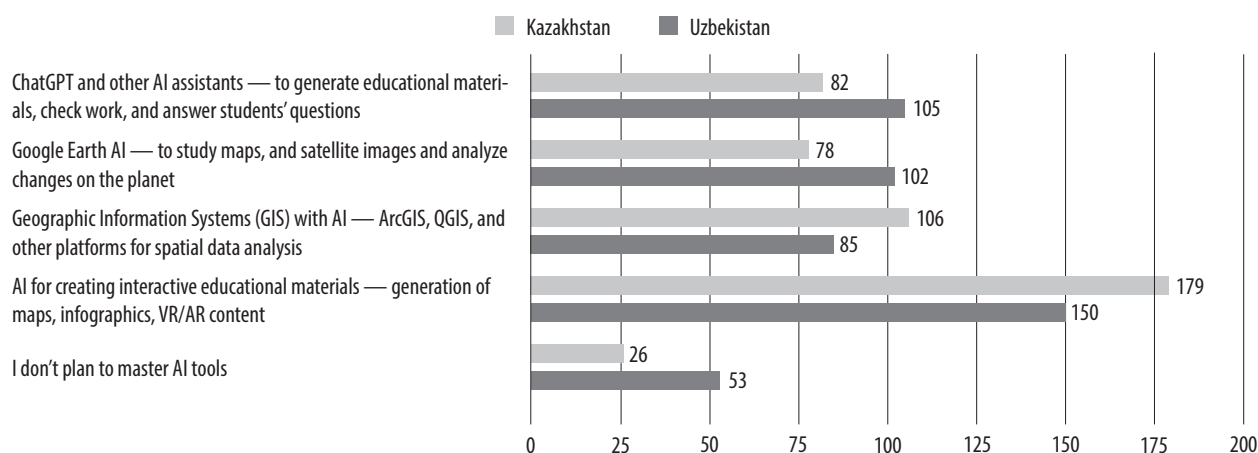


(c) Advantages of applying artificial intelligence in geographical education

Fig. 2. Artificial intelligence in geographical education: benefits, limitations, and developmental prospects. (Continued on next page).



(d) Advantages of applying artificial intelligence in geographical education



(e) AI tools are being mastered to enhance professional and research competencies

Fig. 2 (continued). (d, e).

and 109 in Uzbekistan regard AI as a promising means of improving educational practices, while acknowledging the high resource intensity of its implementation.

An optimistic perception of AI is observed only among 72 Kazakhstani and 37 Uzbek respondents, who view it as a driver of qualitative innovation in teaching methodology, particularly in terms of personalized learning and the creation of interactive geospatial models. However, 62 and 92 teachers, respectively, continue to consider traditional teaching methods more effective, and 22 and 52 respondents believe that AI cannot fully replace classical approaches that ensure pedagogical interaction and the heuristic dimension of learning (Fig. 2).

### *Advantages, limitations, and institutional prospects of integrating artificial intelligence into geography teaching*

The integration of artificial intelligence (AI) into geographic education is shaping a new paradigm of the learning process, grounded in automation, intellectualization, and personalization of instruction. The key advantages identified by respondents include the optimization of pedagogical activities through the automation of routine tasks (95 instructors in Kazakhstan and 119 in Uzbekistan) and the expansion of spatial modeling capabilities via interactive cartographic platforms (98 and 106, respectively). A significant factor in the effectiveness of AI integration is the reduction of instructors'

time expenditure (126 and 112 respondents), which creates prerequisites for deeper individualization of the educational interaction.

Nevertheless, alongside its functional advantages, a range of systemic limitations has been identified. The most frequently mentioned risk concerns the decline of learners' cognitive autonomy resulting from excessive dependence on algorithmic solutions (106 respondents in Kazakhstan and 116 in Uzbekistan). Additional barriers include technological vulnerability (48 and 77), infrastructural deficiencies, as well as epistemological risks associated with potential errors in data generation (101 and 98). The high cost of software and hardware solutions remains a significant constraint on the digital transformation of educational institutions.

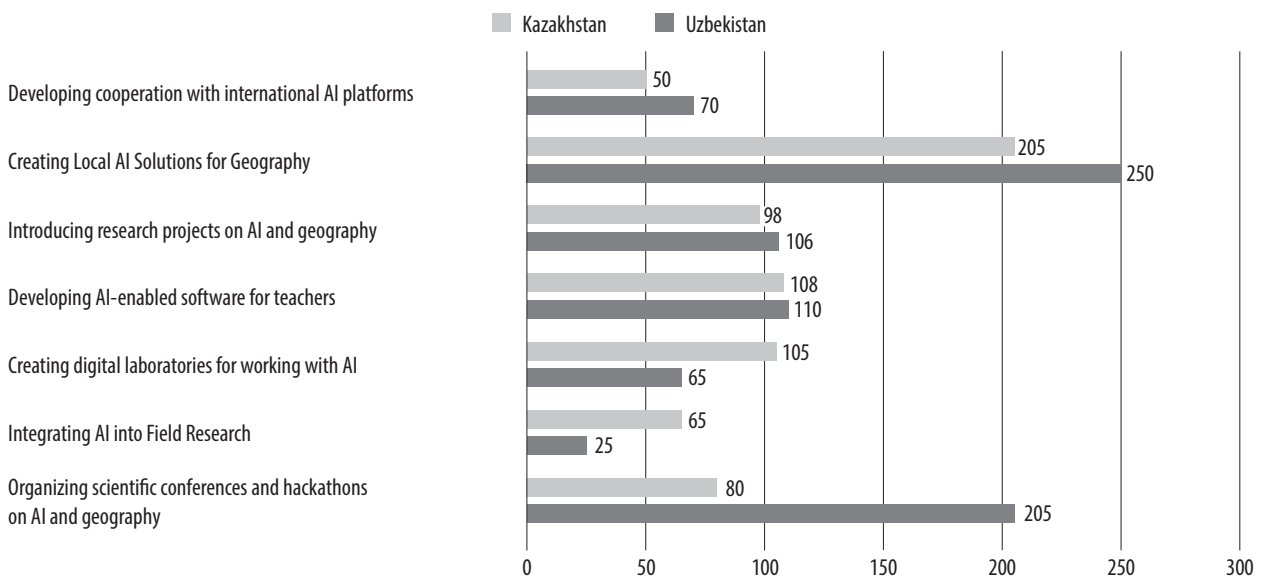
Among the most in-demand AI tools are systems for generating interactive learning materials—maps, infographics, and VR/AR content (179 and 150 respondents); geoinformation systems incorporating elements of machine analysis (106 and 85); and satellite data processing services such as Google Earth AI (78 and 102). Considerable interest is also observed in intelligent assistants (ChatGPT and its analogues), which are viewed as tools for automating the assessment and generation of educational texts (82 and 105). At the same time, a proportion of educators continue to exhibit technological skepticism (26 and 53), reflecting psychological and motivational barriers to digital adaptation.

Institutional strategies for integrating AI into educational practice vary across countries. Support for international partnerships with technological corporations (Google, ESRI, NASA) remains limited (50 and 70 respondents), while the idea of developing national AI solutions receives stronger endorsement in Kazakhstan (102) than in Uzbekistan (55), reflecting differing levels of technological sovereignty.

One of the practical directions of AI applications is the analysis of geospatial data using GIS, satellite imagery, and unmanned aerial technologies (105 and 65 respondents). However, the integration of AI into field-based research remains limited (65 and 25), primarily due to the high cost of equipment and the lack of an established methodological framework.

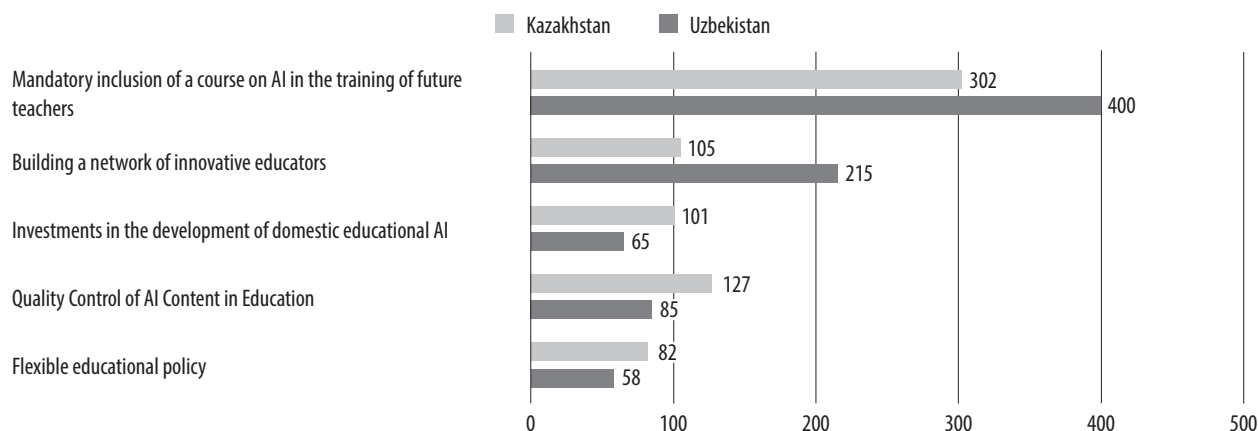
Effective implementation of AI requires systematic governmental support aimed at fostering digital pedagogy. According to respondents, the most prioritized measure is the institutionalization of AI-related courses within teacher education programs (302 in Kazakhstan and 400 in Uzbekistan). The second most significant direction involves the creation of networked professional communities of innovative educators (105 and 215), emphasizing the need for collective experience exchange and the development of a pedagogical innovation ecosystem (Fig. 3).

The issue of reliability and verification of AI-generated content is gaining particular relevance: 127



(a) How do you think AI can be integrated into the geographical education system in Kazakhstan and Uzbekistan?

Fig. 3. Artificial intelligence in geographical education of Kazakhstan and Uzbekistan: integration prospects and governmental support. (Continued on next page)



(b) What kind of support from the government or educational institutions do you think is necessary to successfully implement AI in teaching?

Fig. 3 (continued). (b).

respondents in Kazakhstan and 85 in Uzbekistan emphasize the need for state regulation of generative systems to prevent the dissemination of false or distorted information within the educational environment. At the same time, the idea of deregulation and simplification of procedures for integrating digital tools into curricula received limited support (82 in Kazakhstan and 58 in Uzbekistan), indicating the persistence of institutional and regulatory inertia that hinders the technological modernization of the educational process.

#### *Artificial intelligence in geographical education of Kazakhstan and Uzbekistan: challenges and prospects of integration*

Modern digital technologies are radically transforming the educational landscape, with artificial intelligence (AI) emerging as a key instrument of this transformation. In geographic education, AI enables the visualization of spatial processes, the processing of large geospatial datasets, and the personalization of learning experiences. However, the implementation of intelligent technologies in Kazakhstan and Uzbekistan faces a number of systemic barriers.

The main challenge lies not in technological accessibility but in the lack of pedagogical competencies. According to the survey, 180 teachers in Kazakhstan and 205 in Uzbekistan reported insufficient knowledge regarding the practical application of AI. The absence of specialized courses in teacher-training universities and limited opportunities for professional development impede the formation

of digital pedagogy. Furthermore, older generations of educators often experience difficulties when using even basic ICT tools.

Infrastructural limitations exacerbate the divide: many schools lack stable internet connectivity, and their technical equipment does not meet the requirements of contemporary educational programs—particularly in rural regions. The solution to this problem may lie in the advancement of cloud technologies, the development of national educational platforms, and state-subsidized access to digital learning resources.

The psychological factor is also significant: some educators perceive AI as a threat to traditional forms of teaching, fearing a decline in students' independence and potential algorithmic errors. Nevertheless, when properly integrated, AI serves not as a substitute but as a partner to the teacher, enabling the automation of routine tasks and allowing greater focus on analytical work and individualized learning approaches.

The challenges of implementation also extend to specific software solutions: GIS platforms (ArcGIS, QGIS), remote sensing programs (ENVI, Google Earth Engine), analytical tools (Python, GeoDa), virtual laboratories (PhET, NASA World Wind), and AI assistants (ChatGPT, AI Tutor) all require a high level of professional qualification and methodological support.

In Kazakhstan, the emphasis is placed on the practical integration of AI into the educational process and on enhancing teachers' digital competence. In Uzbekistan, by contrast, an institutional infrastructure is being developed—AI departments

**Table 2. SWOT analysis of artificial intelligence integration into geography teaching in Kazakhstan and Uzbekistan**

Component	Kazakhstan	Uzbekistan
<b>Strengths</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Active implementation of GIS and AI technologies in schools and universities.</li> <li>• Governmental support for education digitalization.</li> <li>• Enhancement of teachers' digital competence through training courses and pilot projects.</li> <li>• Development of practice-oriented approaches and use of interactive mapping tools.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establishment of university departments and research centers specializing in AI.</li> <li>• Existence of a national strategy for the digital transformation of education.</li> <li>• Emphasis on fundamental research and the development of national AI platforms.</li> <li>• Growing student interest in AI technologies.</li> </ul>
<b>Weaknesses</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insufficient teacher preparation in AI and programming.</li> <li>• Limited infrastructure, particularly in rural schools.</li> <li>• Absence of a unified national strategy for AI integration in education.</li> <li>• High cost of licensed software and technical equipment.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slow implementation of AI at the school level.</li> <li>• Inadequate teacher qualifications and shortage of methodological resources.</li> <li>• Limited practical orientation of educational projects.</li> <li>• Dependence on foreign digital solutions.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establishment of national AI competence centers and university laboratories.</li> <li>• Development of partnerships with international companies (Google, ESRI, Microsoft).</li> <li>• Use of cloud technologies and open platforms (Google Earth AI, PhET).</li> <li>• Formation of networks of innovative educators and integration of AI into teacher education.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansion of academic programs and research projects on AI.</li> <li>• Creation of national educational platforms.</li> <li>• Increasing investment activity in digital education.</li> <li>• Introduction of VR/AR and immersive technologies in geography teaching.</li> <li>• Expansion of academic programs and research projects on AI.</li> <li>• Creation of national educational platforms.</li> <li>• Increasing investment activity in digital education.</li> <li>• Introduction of VR/AR and immersive technologies in geography teaching.</li> </ul>
<b>Threats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistance from parts of the teaching community.</li> <li>• Insufficient funding for long-term initiatives.</li> <li>• Risks of unreliable AI-generated data and ethical concerns.</li> <li>• Digital inequality across regions.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureaucratic barriers to innovation.</li> <li>• Lack of large-scale digital infrastructure in schools.</li> <li>• Technological dependence on external providers.</li> <li>• Slow adaptation of AI tools to national educational standards.</li> </ul>

and research centers—which reflects a long-term academic strategy.

Geographic education of the future is inconceivable without AI: intelligent algorithms will facilitate climate data analysis, natural process modeling, and the development of adaptive learning programs. Achieving this requires systemic support measures, including the establishment of university-based AI centers, partnerships with technology companies, the expansion of cloud computing capacities, and the implementation of specialized teacher training programs.

A conducted SWOT analysis demonstrates that the integration of artificial intelligence into geo-

graphy teaching in Kazakhstan and Uzbekistan proceeds under differing institutional logics (*Tab. 2*).

Kazakhstan demonstrates a predominantly applied and practice-oriented trajectory of digitalization, aimed at enhancing teachers' digital competence and integrating AI into the teaching process. Uzbekistan, by contrast, places emphasis on academic infrastructure and research initiatives, providing a strategic foundation but slowing down practical implementation. For both countries, key opportunities include the development of national AI platforms, international technological collaboration, and the institutionalization of teacher training in digital pedagogy, whereas the main threats

involve digital inequality, insufficient funding, and the risks of technological dependency.

### Conclusions

The conducted comparative study confirms that the integration of artificial intelligence (AI) into geographic education in Kazakhstan and Uzbekistan is asynchronous yet mutually complementary. Despite sharing the overarching goal of digital transformation, the two countries exhibit distinct models of institutional adaptation: Kazakhstan follows an applied scenario focused on enhancing teachers' digital competence and incorporating AI into instructional practice, while Uzbekistan pursues an academic-infrastructural approach, developing a research and regulatory foundation for future scaling.

The identified barriers—staffing, infrastructural, methodological, and psychological—indicate the need for comprehensive modernization of pedagogical systems. Insufficient teacher training, fragmentation of methodological support, and unequal access to digital resources remain key obstacles to full-scale AI integration. At the same time, the identified drivers demonstrate significant developmental potential, including the creation of national AI platforms, the use of cloud and GIS technologies, international technological partnerships, and the institutionalization of digital pedagogy within teacher education programs.

A promising direction involves the advancement of AI literacy in geographic education, fostering not only technical but also critical and analytical competencies among teachers and learners. AI integration should therefore be accompanied by pedagogical strategies that develop students' ability to verify AI-generated information, recognize

algorithmic limitations, and preserve independent analytical thinking. In this regard, artificial intelligence should function as an intellectual partner and supportive cognitive tool rather than a substitute for reflective and research-based learning.

Finally, the study has several limitations. The empirical analysis reflects only the perspectives of educators, while the views of students and parents were not included. In addition, the online survey format may influence the representativeness of responses, particularly in regions with limited digital access. The comparative framework covers only two countries, which restricts broader regional generalization and calls for further cross-national and multi-level research.

### Scientific novelty and practical significance of the research

Scientific novelty of the study lies in the comparative identification and classification of barriers and drivers of AI integration in geographical education in Kazakhstan and Uzbekistan based on a large-scale empirical survey and policy analysis. Unlike previous studies focusing on general digitalization processes, this research specifically addresses the disciplinary context of geography and examines the interaction between technological adoption and national educational frameworks.

The practical significance of the research consists in the development of strategic recommendations for improving institutional support, teacher training, and regulatory alignment in the field of AI implementation in geographical education. The findings may be used by educational policymakers, university administrators, and curriculum developers in both countries.




### References [Література]

1. Hamal, O., El Faddouli N. E., Harouni, M. H. A., & J. Lu. (2022). Artificial intelligent in education. *Sustainability*, 14(5), 2862. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14052862>.
2. Ramirez, E. A. B., & Esparrell, J. A. F. (2024) Artificial Intelligence (AI) in Education: Unlocking the Perfect Synergy for Learning. *Educational Process: International Journal*, 13(1), 35–51. DOI: <https://doi.org/10.22521/edupij.2024.131.3>.
3. Bhimdiwala, R., Neri C., & Gomez, L. M. (2022). Advancing the design and implementation of artificial intelligence in education through continuous improvement. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32, 756–782. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00278-8>.
4. Docter, M. W., de Vries T. N., Nguyen, H. D., & van Keulen H. (2024). A proof-of-Concept of an Integrated VR and AI application to develop Classroom Management competencies in teachers in Training. *Education Sciences*, 14(5), 540. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci14050540>.
5. Ng, D. T. K., Tan, C. W., & Leung, J. K. L. (2024). Empowering student self-regulated learning and science education through ChatGPT: A pioneering pilot study. *British Journal of Educational Technology*, 55(4), 1328–1353. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13454>.




6. Viruel, S. R., Rivas E. S., & Palmero J. R. (2025). The Role of Artificial Intelligence in Project-Based Learning: Teacher Perceptions and Pedagogical Implications. *Education Sciences*, 15(2), 150. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15020150>.
7. Uygun, D. (2024). Teachers' perspectives on artificial intelligence in education. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 4(1), 931–939. DOI: <https://doi.org/10.25082/AMLER.2024.01.005>.
8. Uwosomah, E. E., & Dooly, M. (2025). It Is Not the Huge Enemy: Preservice Teachers' Evolving Perspectives on AI. *Education Sciences*, 15(2), 152. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15020152>.
9. Chang, C. H., & Kidman, G. (2023). The rise of generative artificial intelligence (AI) language models-challenges and opportunities for geographical and environmental education. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 32(2), 85–89. DOI: <https://doi.org/10.1080/10382046.2023.2194036>.
10. Lee, J. (2023). Beyond geospatial inquiry-How can we integrate the latest technological advances into geography education? *Education Sciences*, 13(11), 1128. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13111128>.
11. Ahmed, Z. Y. (2024). Artificial Intelligence Geographic Information Systems-AI GIS. *International Journal of Advanced Engineering and Business Sciences*, 5(1), 5–19. DOI: <https://doi.org/10.21608/ijaeb.2024.235886.1087>.
12. Li, J., Xia, H., Qin, Y., Fu, P., Guo, X., Li, R., & Zhao, X. (2022). Web GIS for Sustainable Education: Towards Natural Disaster Education for High School Students. *Sustainability*, 14(5), 2694. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14052694>.
13. Popenici, S. A., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1), 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8>.
14. Yufeia, L., Salehb, S., Jiahuic, H., & Syed, S. M. (2020). Review of the application of artificial intelligence in education. *Integration (Amsterdam)*, 12(8), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.53333/IJICC2013/12850>.
15. Redican, K., Gonzalez, M., & Zizzamia, B. (2024). Assessing ChatGPT for GIS education and assignment creation. *Journal of Geography in Higher Education*, 2, 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2024.2397332>.
16. Lee, J., Cimova, T., Foster, E. J., France, D., Krajiňáková, L., Moorman, L., Rewhorn, S., & Zhang, J. (2025). Transforming geography education: the role of generative AI in curriculum, pedagogy, assessment, and fieldwork. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 1, 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/10382046.2025.2459780>.
17. Wilby, R. L., & Esson, J. (2024). AI literacy in geographic education and research: Capabilities, caveats, and criticality. *The Geographical Journal*, 190(1), e12548. DOI: <https://doi.org/10.1111/geoj.12548>.
18. Janowicz, K., Sieber, R., & Crampton, J. (2022). GeoAI, counter-AI, and human geography: A conversation. *Dialogues in Human Geography*, 12, 446–458. DOI: <https://doi.org/10.1177/20438206221132510>.
19. Smith, T. R. (1984). Artificial intelligence and its applicability to geographical problem solving. *The Professional Geographer*, 36(2), 147–158. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.0033-0124.1984.00147.X>.
20. Almelweth, H. (2022). The effectiveness of a proposed strategy for teaching geography through artificial intelligence applications in developing secondary school students' higher-order thinking skills and achievement. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 12(3), 169–176. DOI: <https://doi.org/10.47750/pegegog.12.03.18>.
21. Shumakova, G., Sergeyeva, A., Abdullina, A., & Aliaskarov, D. (2024). Problems of Studying the Urbanization Process for Students of the Educational Program 'Geography' in Kazakhstan. *Indonesian Journal of Geography*, 56(2), 197–207. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijg.87685>.
22. Sergeyeva, A. M., Yessembek, S. A., Abdullina, A. G., Baubekova, G. K. (2023). The Analysis of the Content of the Geography School Curriculum for the Section Country Studies in the Republic of Kazakhstan. *Ukrainian Geographical Journal*, 2023(2), 60–70. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.02.060>.

The article was received by the editorial office on 02/22/2025,  
accepted for publication on 03/05/2026.

Нургазіна А.<sup>1</sup>  
Сергеєва А.<sup>2</sup>  
Омірзакова М.<sup>3</sup>

 0000-0002-1020-5283,  
 0000-0002-6821-8773,  
 0000-0003-3804-356X,

Равшанов А.<sup>4</sup>  
Ібрагімов Л.<sup>4</sup>  
Усманов М.<sup>4</sup>

 0009-0002-5249-878X,  
 0000-0002-1524-8469,  
 0000-0002-7009-8053

<sup>1</sup> Жетісуський університет імені І. Жансугурова, Талдикорган, Казахстан

<sup>2</sup> Євразійський національний університет імені Л. М. Гумільова, Астана, Казахстан

<sup>3</sup> Актюбінський регіональний університет імені К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

<sup>4</sup> Самаркандський державний університет, Самарканд, Узбекистан

## Бар'єри і драйвери інтеграції штучного інтелекту в географічну освіту: порівняльне дослідження Казахстану та Узбекистану

УДК 37.091.3:91]:004.8(574+575.1)(045)

Це дослідження присвячене вивченню бар'єрів і драйверів упровадження штучного інтелекту (ШІ) в географічну освіту на основі порівняльного аналізу Казахстану та Узбекистану — двох країн Центральної Азії,

що проходять паралельні, але відмінні процеси цифрової трансформації. Застосовано дослідницький підхід, що поєднує аналіз національних політик цифровізації з онлайн-опитуванням 966 респондентів (471 з Казахстану і 495 з Узбекистану), серед яких — учителі географії, викладачі коледжів і університетів. Результати виявили помітні міждержавні відмінності в рівнях цифрової компетентності, інституційної готовності та педагогічної інтеграції ШІ. У Казахстані спостерігається більш практикоорієнтована модель, зосереджена на цифровій педагогіці та прикладному використанні інструментів ШІ, тоді ж як в Узбекистані основний акцент роблять на розвитку академічної інфраструктури та наукових досліджень. Дослідження підкреслює необхідність розвитку ШІ-грамотності в географічній освіті як основи сталої цифрової трансформації, розглядаючи ШІ не як заміну викладача, а як інтелектуального партнера, що сприяє формуванню дослідницького мислення, просторової уяви та когнітивної автономії студентів.

**Ключові слова:** штучний інтелект; географічна освіта; цифровізація; цифрова грамотність; Казахстан; Узбекистан.

#### Цитування:

Нургазіна А., Сергєєва А., Омірзакова М., Равшанов А., Ібрагімов Л., Усманов М. (2026). Бар'єри і драйвери інтеграції штучного інтелекту в географічну освіту: порівняльне дослідження Казахстану та Узбекистану. *Український географічний журнал*. 1, 102–115. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.102>



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.116>

Yatsenko, V. S.

0000-0002-7948-2983

Institute of Pedagogy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## Towards a Methodology for Studying Glaciological Challenges of the 21st Century in Educational Practice

UDC 551.32:551.583:556.1:37.016:91:502/504(045)

This publication aims to raise awareness among geography teachers and students about the important role of cryosphere components in the climate system and the hydrological cycle, as well as the environmental, social, and economic consequences of global climate change. The following research methods were used: theoretical (from the abstract to the concrete); comprehensive (abstraction, analysis and synthesis, induction and deduction, partial modeling); and empirical (observation, comparison, measurement, and experimentation). In the educational process, glaciological studies may begin with the first occurrences of winter atmospheric phenomena—snow, hail, ice glaze, blizzards, or heavy snowfalls—in the context of understanding the impact of global warming and climate change on specific natural processes in Ukraine. Mountain glaciers in Iceland, Scandinavia, the Alps, and the Himalayas serve as indicators of climate change; their melting is altering the landscape, potentially leading to changes in the national borders of some countries. The article's materials are intended to help students study the basics of glaciology in more detail, where the development of social skills, interaction, and independence is important. The United Nations General Assembly has proclaimed 2025–2034 as the Decade of Action for the Cryosphere Sciences. The initiative aims to enhance monitoring and scientific research on glacier melting, permafrost, and snow cover. It also envisages support for the development of educational programs that will expand geography teachers' capacity to help students better understand their natural and anthropogenic environments and act responsibly within them. To stimulate children's interest in glaciological science, scientists need to develop creative, integrated content. The novelty of the study lies in developing methodological foundations for integrating contemporary glaciological issues into the educational process, thereby ensuring the active participation of teachers and students in implementing the Decade of Action for the Cryosphere Sciences (2025–2034).

**Keywords:** *cryosphere, glaciological research, mountain glaciers, snow, popularization of science, methods of teaching geography.*

### Relevance of the research topic

Global climate change is prompting a reorientation of glaciological research not only in remote regions of the world but also in Ukraine, where, in recent years, observations of snow cover, avalanches, glaciological debris flows, and sea and freshwater ice have remained limited. The Resolution on the *International Year of Glacier Preservation*, adopted by the United Nations General Assembly and launched on January 21, 2025 [1], conceptually

defines the comprehensive implementation of sustainable development principles across its economic, social, and environmental dimensions. For the scientific and educational community, it is essential to develop international and national mechanisms that ensure access to accurate, timely information on the cryosphere, climate change, and the ecosystems of polar, mountain, and coastal delta regions. In the context of the *International Year of Glacier Preservation*, the United Nations General Assembly

### For citation:

Yatsenko, V. S. (2026). Towards a Methodology for Studying Glaciological Challenges of the 21st Century in Educational Practice. *Ukrainian Geographical Journal*. 1. 116–127. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.116>

Copyright © 2026 Publishing House *Akadempyodyka* of the National Academy of Sciences of Ukraine.



The article is published under the open access license CC BY-NC-ND license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

has proclaimed March 21 as World Glacier Day, to be observed annually starting in 2025 as a symbol of global solidarity in preserving the cryosphere. The launch of the *Decade of Action for the Cryosphere Sciences (2025–2034)* opens significant opportunities to intensify scientific and educational research aimed at a deeper understanding of global challenges such as climate change, glacier melting, sea-level rise, coastal flooding, the increasing frequency of natural disasters, and the growing number of “climate migrants.”

### Relevance of the Research Topic

The main sources used in the study cover a wide range of aspects of the problem and are comprehensive. These include, first and foremost, the United Nations’ regulatory documents that establish the International Year of Glacier Preservation in 2025 [1–2–3]. Specialized geographical sources substantiate the significance of the presented facts and working assumptions across various fields—geophysics [4], geology [3; 5], paleoecology [6], glaciology [7; 8; 4], hydrology [9], and climatology [12–10–11]. In addition, educational manuals for geography teachers and students of general secondary schools were used. Online resources reflect the diversity of materials available from scientific centers and specialized platforms.

### Aim of the Study

The aim of this publication is to enhance the awareness of geography teachers and students about the crucial role of cryosphere components in the climate system and the hydrological cycle, as well as about the ecological, social, and economic consequences of changes in the Earth’s cryosphere. Research objectives:

1. To familiarize teachers of natural sciences with traditional and interactive information resources designed for students of general secondary education.
2. To substantiate key aspects of the methodology for developing students’ research competencies in the process of learning the fundamentals of glaciology within geography education.
3. To promote the enhancement of geography teachers’ professional competence in glaciological research within educational practice.

### Research methods

The study employed both theoretical methods (progression from the abstract to the concrete, abstrac-

tion, analysis and synthesis, induction and deduction, and partial modeling) and empirical methods (observation, comparison, measurement, and experimentation). Among the specialized methods, where possible, geographic information systems (GIS), remote sensing techniques, measurements of atmospheric carbon dioxide, measurements of water resources in the snow cover, and Earth system modeling in the form of ice-flow simulations were employed.

### Presentation of the Main Material and Substantiation of Scientific Results

#### *Glaciers as Indicators of Climate Change*

During glacial periods, extensive ice sheets repeatedly spread across North America and Europe, highlighting their crucial role as indicators of global climate change. According to the data of Anglo-Canadian landscape researchers D. Brunnsden and J. Dornkamp, in the United Kingdom, ice sheets extended as far as the London area and covered most of the territory to its north [7, p. 111]. Moisture concentration over the continents caused a sea-level drop of approximately 100 meters relative to present levels. More than 90% of ice sheets are located in Antarctica, about 8% in Greenland, and the remainder in mountainous regions worldwide (*Table 1*).

Glaciers form in regions with significant accumulation of atmospheric precipitation, where falling snow or ice accumulates, and where mean annual temperatures remain sufficiently low to preserve these deposits from year to year. A more detailed description of glaciological processes is provided in the textbook for 6th–7th grade students by V. S. Yatsenko and V. A. Kravchenko, “All About Water for Future Generations. The Nature of Water” [17, pp. 52–54]. In a simple, accessible form, the textbook for students in this age group describes sea ice formation [17, p. 52], pressure ridges, icebergs, and Antarctic glaciers [17, p. 53], and the impact of the greenhouse effect on the Arctic climate [17, p. 54]. American researchers François Lapointe and Raymond S. Bradley, in their study “The Little Ice Age abruptly triggered by intrusion of Atlantic waters into the Nordic Seas” [9], analyze the development of the Little Ice Age (15th–19th centuries), which followed a period of significant warming and had severe consequences for humanity, including crop failures, mass famine, pandemics, and millions of deaths in Europe. The researchers reconstructed sea

Table 1. Area of Present-Day Glaciation of the Earth According to Different Sources and Their Losses

Glaciation area	Key losses
<b>Antarctica</b> Antarctica: 13.9 million km <sup>2</sup> [2]	Between 1997 and 2021, shelf glaciers lost about 30% of their mass.
<b>Arctic</b> Greenland: 1.71 million km <sup>2</sup> [13], Canadian Arctic Archipelago: 1.4 million km <sup>2</sup>	The ice area is projected to decrease by more than 50% by 2100 [13, p. 30].
<b>Europe</b> Iceland: 11,060 km <sup>2</sup> [14]; total ice volume: 3,000 km <sup>3</sup> ; average thickness: 300 m [15], Scandinavia: 2,949 km <sup>2</sup> [14], Norway: 6,736 glaciers with a total area of 2,300 km <sup>2</sup> (2022) [15], Alps: 4,400 glaciers with a total area of 2,000 km <sup>2</sup> (1% of the Alps) 100 km <sup>3</sup> of ice (2020) [15], Switzerland: 1,400 glaciers with a total area of 961 km <sup>2</sup> (2016) [7].	Since the 20th century, Icelandic glaciers have lost about 25% of their area. Between the 1960s and 2010s, Norwegian glaciers decreased by 10%. Since 1850, Swiss alpine glaciers have lost approximately 60% of their volume.
<b>Asia</b> Hindu Kush Himalayan range: snow cover 951–1,390 thousand km <sup>2</sup> in winter and 388–481 thousand km <sup>2</sup> in summer; glacier area — 87,340 km <sup>2</sup> (2025) [16]. Northern Asia: 2,410 km <sup>2</sup> [14] High Mountain Asia: 97,605 km <sup>2</sup> [14] Middle East: 1,307 km <sup>2</sup> [14]	In the 2010s, glacier retreat occurred 65% faster than in the previous decade
<b>North America</b> Alaska: glaciers 86,725 km <sup>2</sup> [14], Western Canada and the United States: 14,524 km <sup>2</sup> [14].	Glaciers lose more than 80 gigatons of ice per year (about 5% of the total) [8].
<b>South America</b> Southern Andes: 29,429 km <sup>2</sup> [14], Humboldt Glacier: 0.01 km <sup>2</sup> [4].	In 1910, the area of the Humboldt Glacier was 3 km <sup>2</sup> [4].
<b>Africa</b> Mount Kilimanjaro massif: 388,500 km <sup>2</sup> [14].	Since 1912, the total glacier area has decreased by 91% [10].
<b>Australia and Oceania</b> Low latitudes: 2.34 km <sup>2</sup> [14]. New Zealand: 1,162 km <sup>2</sup> [14].	The losses are estimated at over 29% [11].

surface temperatures in the North Atlantic over the past 3000 years and identified an anomalous shift: the ocean first warmed abruptly and then cooled between 1380 and 1400. This triggered rapid melting of Arctic ice, likely associated with anomalous solar activity preceding the period, which led to increased atmospheric pressure over the Greenland ice sheet. Ocean currents in the Arctic accelerate and become more chaotic due to rapid ice melt. Information on the history of the solar cycle from 1750 to 2025 is currently available on the NOAA/SWPC website, published in October 2023 [12]. The formation of concepts about the regularities

of change in natural and climatic conditions can be achieved through the study of Earth's geological history. In this context, it is appropriate to consider the following issues: how the Earth developed during the early stages of its geological history; the structure of platforms and the mechanisms of their formation; the interrelation between geological history, structure, and relief in different regions; and examples that illustrate rhythmic patterns within the geographical envelope. The formation of students' understanding of the regularities of changes in natural and climatic conditions can be achieved through the study of

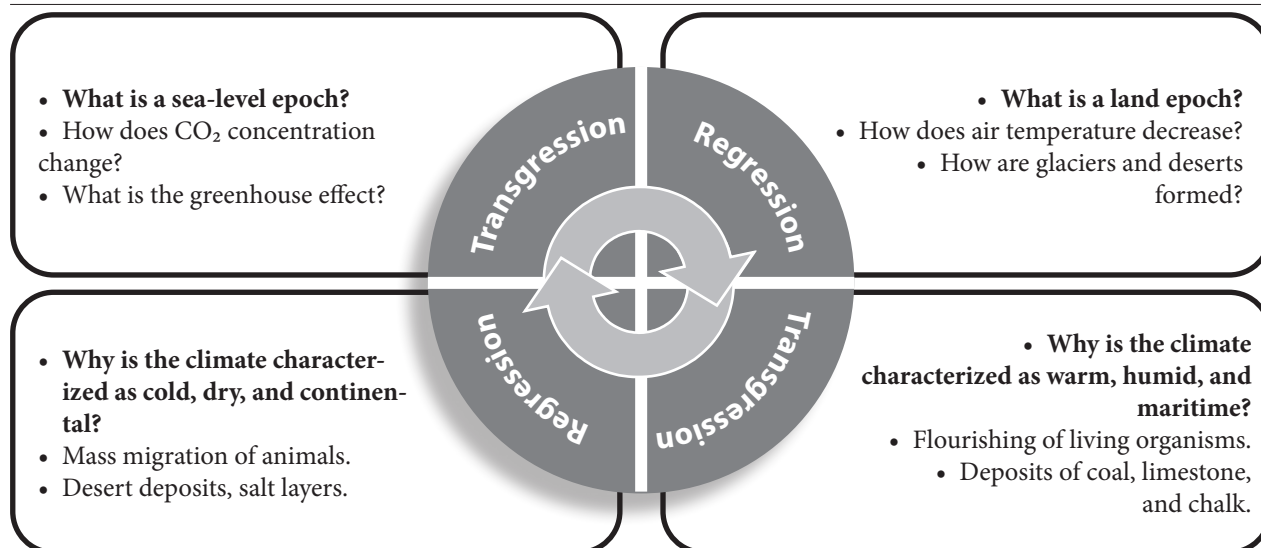


Fig. 1. An activity-based approach in geography education as a means of fostering understanding of rhythmic processes in the geographical envelope

Earth's geological history. In this context, it is appropriate to consider the following issues: how the Earth developed during the early stages of its geological history; the structure of platforms and the mechanisms of their formation; the interrelation between geological history, structure, and relief in different regions; and examples that illustrate rhythmic patterns within the geographical envelope. American researchers P. K. Shoonmaker and D. R. Foster argue that during the Quaternary period, covering the last 1.6 million years, there were approximately 24 glacial episodes alternating with interglacials. These cycles were accompanied by changes in sea level, climate, and the region's floristic composition [6, p. 206]. These changes can be explained to students in an accessible form by highlighting epochs in the geological past characterized by contrasting natural conditions—the processes of marine transgression and regression (Fig. 1).

The teacher selects and/or recommends accessible sources of geographical information and compiles a list of available video materials for students. The students independently work with the materials on the chosen research topic and summarize the results in the form of media presentations, oral reports, illustrative schemes, or drawings. Figure 1 presents suggested topics and key issues for discussion both during the process of student research and at the stage of presenting their results. In higher education institutions, these issues are appropriately addressed during preparatory sessions (pre-seminars) and academic seminars. A re-

search-oriented special seminar is recommended within the framework of student or school scientific conferences. For both school pupils and university students, the search for answers to the concluding questions remains equally relevant: “In which epoch do we live?” and “Will the world change after 2100?”.

#### *Ancient glaciations*

Epochs of continental development in specific regions represent regular stages in their geological evolution. Their detailed characterization is possible through the analysis of complex data integrating geological, paleomorphological, and paleogeographical conditions characteristic of these epochs. An important direction of research may be the work of students within the system of the Minor Academy of Sciences of Ukraine (MAN Ukraine).

At this stage, students examine in greater detail the causal relationships underlying the occurrence of glacial periods on Earth—the Late Ordovician (455–440 million years ago), the Permo-Carboniferous (335–280 million years ago), and the Cenozoic (around 35 million years ago)—using examples of ancient glaciation traces widely found in Ukraine. Of particular interest are the results of recent scientific studies on this issue, such as the work of American scholars Nan Sun, Alan D. Brandon, Steven L. Forman, and Michael R. Waters, “Geochemical evidence for volcanic signatures in Younger Dryas event deposits” [18].

Researchers substantiate the causes of climate change at the end of the Pleistocene (around 12,800

Table 2. Kovel Complex of Regional Glacial Formations of Volyn Region \*

Eskers with fragments of chalk rocks	Alluvial cones (front of glacial tongue)	Turied exaration valleys (filled with Dnieper moraine)
Villages of Kovel district: Moshchena, Lyublynets, Bilashiv, Lyubytiv, Radoshin, Ukhovetsk	Villages of Kovel district: Staryi Mozyr, Velykyi Porsk, Pidrizhzhia, Zhuravline	Villages of Volodymyrskyi district: Selets
	Villages of Lutsk district: Ozeryany	Valley of the Turya River

\* Prepared by the author from source [19].

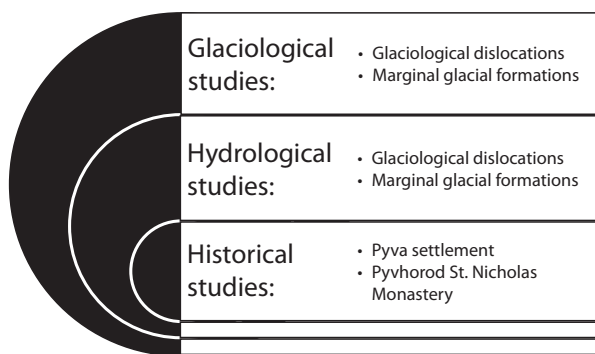


Fig. 2. Objects of glaciological, hydrological and historical studies of Mount Pyvykha, Poltava region

years ago), when the Earth abruptly returned to a glacial phase — the stage of the last glaciation. In their view, the main factors were the collapse of ice sheets into the Atlantic Ocean, the expansion of snow cover, and a series of volcanic eruptions in the Aleutian Islands, the Cascade Range, and Europe lasting from one to five years, which triggered global cooling. Studying these causal relationships enables students to better understand why the cooling occurred and ultimately led to the extinction of mammoths in the Northern Hemisphere.

Marginal glacial formations as landform features are widely represented in Ukraine. They are concentrated in separate areas that combine into complexes—discontinuous belts stretching for tens to hundreds of kilometers and up to 20–25 km in width. Ukrainian researcher A. V. Matoshko, studying the fluvial and glacial geomorphogenesis of the *Kovel complex of marginal glacial formations*, provides detailed information on landform types and their geographical distribution [19, p. 89]. Students can observe in the field various glaciofluvial accumulative forms (eskers, alluvial cones), exaration valleys, and moraine covers (Table 2).

Another potential object of study is the *Hradyzk-Taburyshche complex of marginal glacial formations*—a landform in the Dnipro valley between the town of Hradyzk in Poltava region and the village of Taburyshche (now submerged by the waters of the Kremenchuk Reservoir) in Kirovohrad region.

Objects of study may include not only landforms but also geological outcrops, rocks (sands, marls, and minerals (gypsum). An interesting subject of investigation is Mount Pyvykha, located within the Globyno and partly the Kremenchuk districts of Poltava region; it has the status of a local landscape reserve. The mountain lies on the left bank of the Dnipro River, near the southern outskirts of the town of Hradyzk (Fig. 2).

Landscape studies are conducted in the local landscape reserve “Mount Pyvykha,” covering an area of 285 ha, where pine, maple, aspen, elm species, and other vegetation dominate. Within the reserve, active abrasion processes are examined along with paleontological finds—sea urchins, corals, mollusks, mammoths, woolly rhinoceroses, and reindeer. Tourism studies contribute to the promotion of thematic and rural (green) tourism in the region. In 2008, Mount Pyvykha represented Poltava region in the national contest “Seven Natural Wonders of Ukraine.” The aesthetic appeal of Pyvykha is comparable to that of the country’s most renowned natural sites.

Traces of ancient glaciations are widespread across many regions of Ukraine, and some have acquired the status of geological nature monuments [3]. Such objects include: the quarry near the village of Rostan (Volyn) and geological outcrops in the basin of the Vyshnia River near Dobrynychy (Precarpathia), whose lower part consists of glacial deposits [3, p. 13]; the Marmarosh Massif (Rakhiv District, Zakarpattia), which began to form 700 million years ago and bears evidence of Cenozoic glaciation — glacial troughs and cirques [3, p. 18], and can serve as an educational geo-route for students to Mount Pip Ivan Marmarosh; Middle Pleistocene glacial deposits near the villages of Rostan and Koshary (Polissia) [3, p. 96]; and the Oleksandriya dendrological park (Kyiv region), represented by an aquifer complex of Middle Quaternary (Dnieper) glacial, glaciofluvial, and lacustrine-glacial deposits [3, p. 99]. In our view,

**Table 3. Frequency of very heavy snowfalls in Ukraine during 1984–2004 (October–April) [6, p. 303]**

Ukrainian Carpathians	Crimean Mountains	Kyiv oblast
<p><b>Latest heavy snowfall:</b> May 7–8, 1989 in the areas of Pozhezhevska, Yaremche, and Rakhiv. Duration ranged from 20.1 to 9.6 hours; precipitation amounted to 58–21 mm.</p>	<p><b>Longest heavy snowfall:</b> January 31 – February 1, 1988 in the Mnohorychchia area. Duration — 22 hours.</p>	<p><b>Snowfall with the greatest duration:</b> April 26–27, 1987 in Tomashivka. Duration — 19.2 hours; precipitation — 35 mm.</p>
<p><b>Earliest heavy snowfall:</b> September 5–7, 1991 at Pozhezhevska (Carpathians). Precipitation — 69 mm (water equivalent).</p>	<p><b>Maximum precipitation during a heavy snowfall:</b> February 14–15, 1997 at Ai-Petri (Crimean Mountains). Precipitation — 131 mm.</p>	<p><b>Maximum precipitation during a heavy snowfall:</b> April 26–27, 1987 in Tomashivka (Kyiv Region). Precipitation — 74 mm.</p>

geological monuments of Ukraine may serve as starting points that encourage students to explore their native land, since they are present in every region and are practically within an hour's reach of the study sites.

For example, Ukrainian scholars O. M. Adamenko and M. I. Mosiuk provide examples of glacial-type flora and fauna at the *geological nature monument* “Starunia” (Precarpathia), which can be studied by students using geographical, ecological, geological, and paleontological methods. They conclude that “their evolution and distribution across Europe begins with the Late Glacial period of humid tundra, passes into the phase of lacustrine landscapes, and continues today in open and dry biotopes” [5, p. 35].

Other effective forms of geography education include project-based activities. For instance, on October 26, 2019, students participated in Starunia in an eco-cultural festival marking the opening of the Pleistocene Park—part of the contest “Small Towns—Great Impressions,” aimed at developing the cultural and economic potential of territories through support of heritage-related start-ups [20]. Teachers of natural sciences who organize student field studies are advised to apply methods of economic-geographical research: statistical, cartographic, comparative, historical, economic-mathematical, systematization, regionalization, and geographical forecasting.

#### *Snow Cover*

Snow and the processes of its formation are of great importance both for nature and for humans. Snow is the main source of moisture for soils, and its deficit significantly reduces agricultural yields. In winter, snow protects vegetation from freezing, while the absence of cover makes animals more vulnerable to predators. From an economic perspec-

tive, the lack of snow reduces revenues from winter sports and tourism. These are only some examples of the importance of snow.

According to media reports, two interrelated processes are observed in different regions of the world: global warming caused by rising air temperatures, and the occurrence of natural hazards in atypical areas—hail, ice storms, blizzards, heavy snowfalls, etc. For instance, on June 9, 2020, summer snow fell in Andorra; on September 11, 2021, an unexpected snowfall occurred in the Upper Nkam area of Cameroon; on September 21, 2024, up to 2 m of snow fell in South Africa; on November 28, 2024, a powerful snowfall brought up to 18 cm of snow in the Republic of Korea; and on November 3, 2024, the first snowfall in history was recorded in the Al-Jawf region of Saudi Arabia.

An important characteristic of the winter season is snowfall, which determines the formation, intensity, duration, stratification, density, and water content of the snow cover. In Ukraine, heavy snowfalls are usually associated with the arrival of southern and southwestern cyclones from the Mediterranean (about 50%), as well as western (10%) and northwestern cyclones from Western Europe. The frequency of heavy snowfalls varies: between 1984 and 2004, the largest number of cases (46) was recorded in Crimea; somewhat fewer in Zakarpatia (31) and Ivano-Frankivsk (25) regions. In most other regions, the number of cases ranges from 1 to 4 (Table 3).

Very heavy snowfalls (precipitation of 20 mm or more within a period of up to 12 hours) are classified as extreme meteorological phenomena. Kyiv scholars I. Shcherban, V. Babichenko, N. Nikolaieva, and S. Rudishyna, summarizing data for the twenty-year period (1984–2004), concluded that the intensity and frequency of such snowfalls in Ukraine increased significantly [6, p. 301].

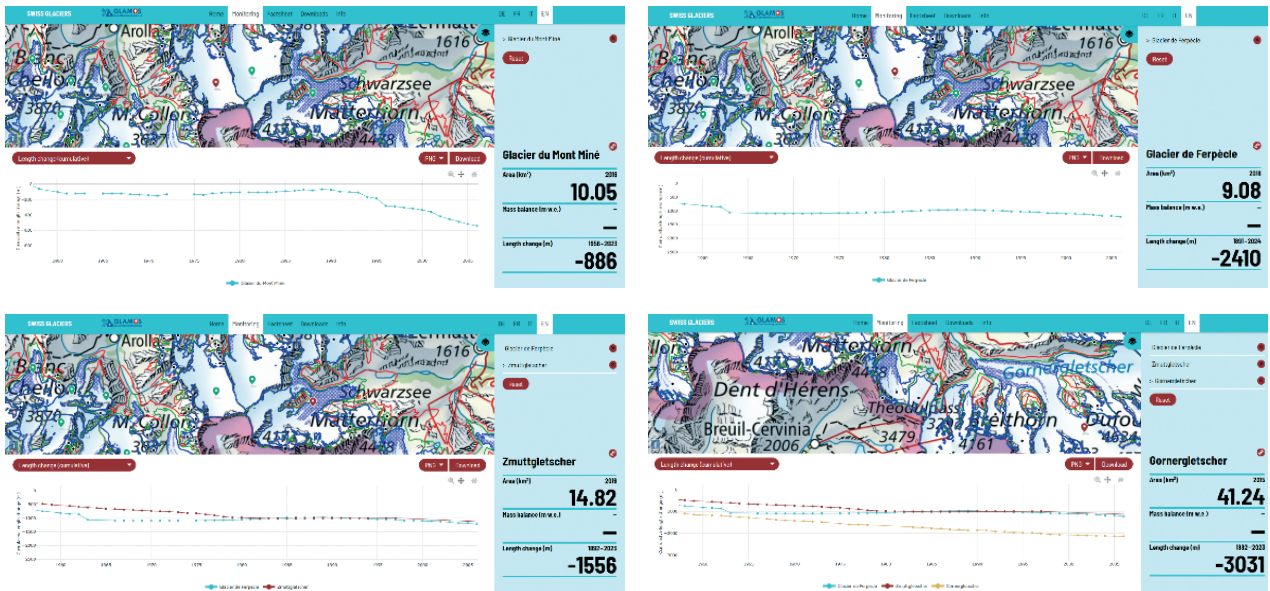


Fig. 3. Monitoring of the glaciers Glacier du Mont Miné, Glacier de Ferpècle, Zmuttgletscher, and Gornergletscher in the Swiss Alps [24]

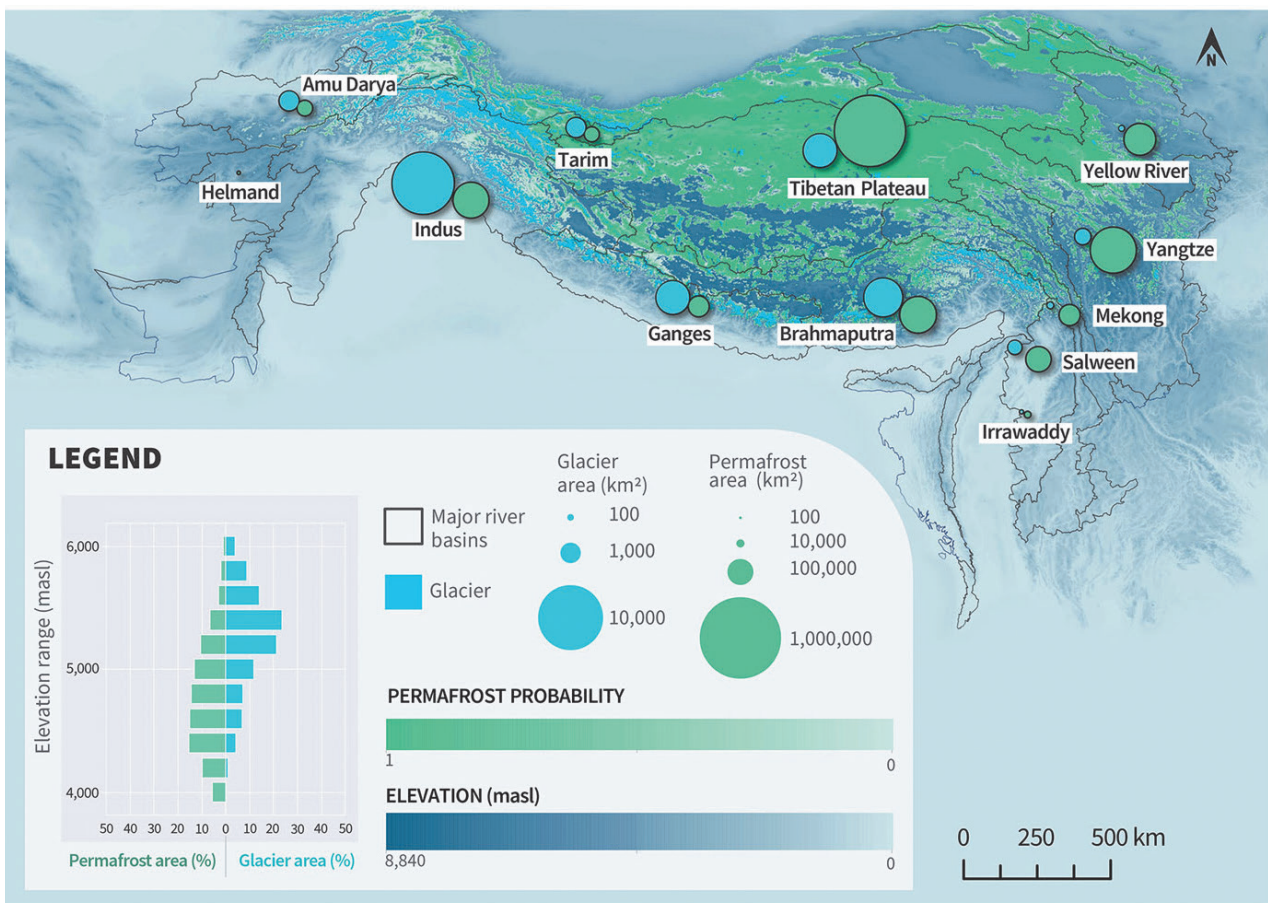


Fig. 4. Distribution of permafrost (in green) and glaciers (in blue), together with summarized statistical data on glaciers and permafrost in the major river basins of the Hindu Kush Himalaya (HKH) [8].

### Mountain Glaciers

The Glacier Change portal [12] provides materials for studying glaciers in *Iceland*, *Scandinavia*, and *the Alps*. Students can explore collections of photographs and information on European glaciers. For educational purposes, scientific research results, works of art, photographs, and satellite images may be used. In particular, the site presents data on 39 glaciers in *Iceland*, 38 glaciers in *Norway*, and 21 Alpine glaciers. Their study expands the scope of research—from analyzing the impact of rising air temperatures and decreasing snowfall on the melting rate of European mountain glaciers to examining crustal uplift, increased volcanic activity, sea-level rise, and effects on local tourism. Alpine glaciers are the place of origin, development, and popularization of glaciology, and they are recommended as a starting point for desk work. For example, Glacier Monitoring in *Switzerland* (GLAMOS) systematically documents and monitors long-term changes in glaciers in the Swiss Alps [7]. By studying glaciers in the area of the Matterhorn (4478 m) on the Swiss-Italian border, we can clearly see from statistical data how climate change has affected them (Fig. 3).

During the observation period (1880–2024), the length of the glaciers under study changed from 886 to 3031 m. The platform recommends conducting a more detailed investigation of each observed glacier. In the course of such desk-based work, it is important to foster students' social skills, including the ability to interact, communicate, and work independently.

*The Hindu Kush mountain system* in South Asia plays a crucial role in the region's natural and social systems. Extending for 3500 km across eight countries, it is the source of ten major rivers that provide water resources for about 240 million people, and nearly 2 billion when including river basins. Mountain socio-ecological systems are exposed to significant risks due to climate change. Accelerated glacier melting alters river runoff; precipitation increasingly falls as rain under warmer conditions; this affects drinking water quality through the accelerated release of accumulated substances (mercury, phosphorus, nitrogen) and reduces agricultural yields in high-altitude areas [14, 11].

An important challenge remains raising students' awareness of the cryosphere, which includes glaciers, snow, permafrost, as well as lake and river ice. Particular emphasis is placed on informing about

the significance and impact of cryosphere changes on ecosystems and society (Fig. 4).

Fig. 4 may serve as a starting point for research aimed at developing fundamental understanding of the cryosphere and glaciology. In particular, students may explore the following questions:

- What is a mountain glacier and what is a moraine?
- How does a glacier transport ice?
- Why do glaciers grow or shrink?
- What do glacier advance and retreat mean, and which factors determine glacier length?
- What influences the rate of glacier retreat or advance?
- Are glaciers reliable indicators of climate change?
- What retreat trends are observed for Hindu Kush-Himalaya glaciers, and could their disappearance occur within the next decades?
- What do Himalayan glaciers reveal about climate change?

Ben Marzeion (Germany), Regine Hock (USA), Brian Anderson (New Zealand), and others, analyzing a large dataset, concluded that the melting of mountain glaciers (excluding the ice sheets of Greenland and Antarctica) may contribute about 24 % of sea-level rise [25, 2]. According to them, the greatest source of uncertainty in projecting glacier mass at the end of the 21st century is the lack of precise knowledge regarding future emission scales, similar to uncertainties in global mean temperature changes. The projected global glacier mass loss by 2100, compared with 2015, is estimated to correspond to 79–159 mm of sea-level rise [*ibid.*].

The next stage of research conducted by teachers with students may involve analyzing the risks of floods and inundations along coastal zones and river deltas, water resource deficits, biodiversity and ecosystem loss, as well as impacts on tourism and recreation. Such studies can also be carried out in Ukraine, where glacial deposits in the Ukrainian Carpathians resemble moraines of mountain glaciers that once occupied weakly dissected massifs: Chornohora (including Mt. Hoverla), Svidovets, the Rakhiv massif, and the Chyvchyn Mountains [26]. Many modern mountain lakes have glacial origins—for example, Vorozheske (0.7 ha, 1460 m), Herashaska (1.2 ha, 1577 m), Nesamovyte (0.3 ha, 1750 m), and others [26, p. 36]. Research may also

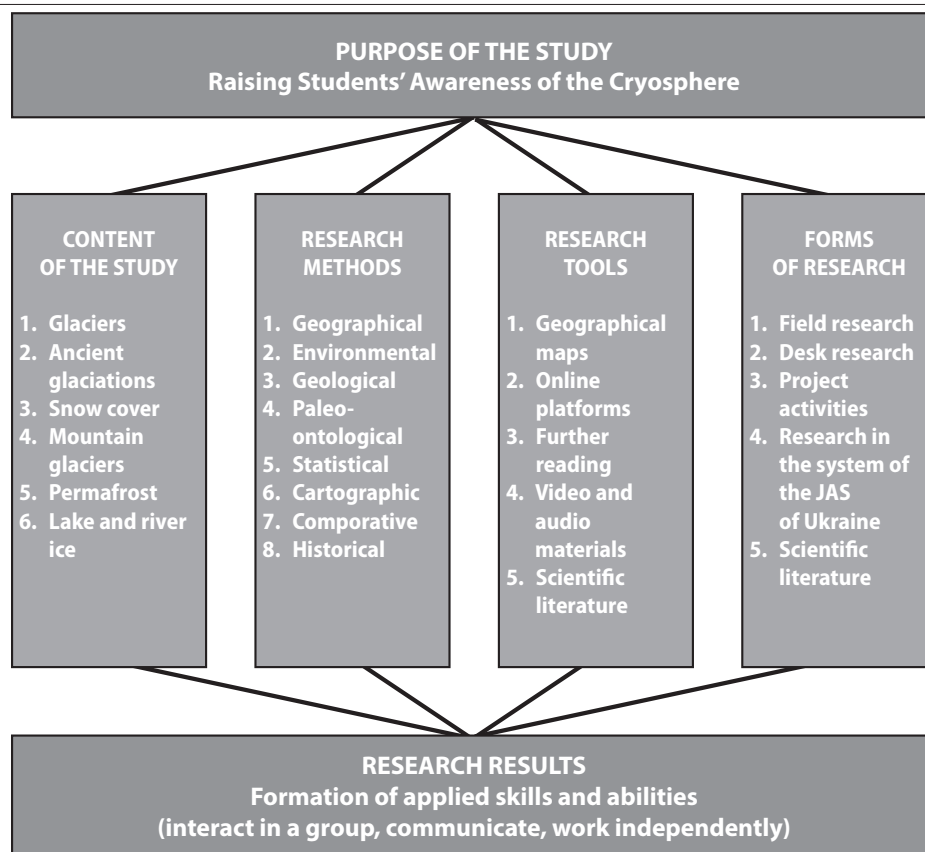


Fig. 5. Methods for studying glaciological problems in geography courses in general secondary education institutions

include contemporary glaciological processes, such as observing ice formation on lakes during the winter season.

**International Year of Glacier Preservation** (2025) is co-chaired by UNESCO and WMO, offering a variety of educational resources for students and teachers. Among them:

- *Global Glacier Casualty List*—a database for studying glacier-related incidents (<https://glaciercasualtylist.rice.edu/?page=Page>);
- *Ice School*—an educational platform for students and teachers ([https://isskolen.dk/wp/?page\\_id=7477](https://isskolen.dk/wp/?page_id=7477));
- *Glacier Change Portal*—an information portal on glacier changes (<https://glacierchange.com/en/>);
- *Exploring Our Earth through Human and Science*—video-based learning materials (<https://www.undergroundchannel.dk/>);
- *Climate Guide*—a single access point for climate change information (<https://climate-guide.fi/frontpage>);
- *Polar Portal*—data on ice and climate in the Arctic (<https://polarportal.dk/forsiden/>).

Based on the study’s results, we can develop a methodology for studying glacial problems in geography courses at general secondary education institutions (Fig. 5).

We have previously outlined the purpose, content, and methods of student research. Now, we will focus on the research subjects and incentives for these studies.

First, we will address the widespread use of digital platforms, exemplified by research on mountain glaciers. It is important to consider the various methods of implementing this research. We recommend incorporating these activities more widely into educational programs, utilizing them as both a method and a form of project-based learning. This could include ecological and cultural festivals, as well as thematic competitions at different scales—local (within communities), regional (across united territorial communities), and national (Ukraine-wide).

Additionally, participation in international projects is encouraged. For example, the International Year of Glacier Conservation in 2025 can serve as a model for assessing students’ competencies in geography education at the secondary school level. These competencies, such as teamwork, communi-

cation, and independent problem-solving, are valuable lifelong skills.

### Conclusions

The launch of the Decade of Action for Cryosphere Sciences (2025–2034) will encourage scientists and educators to devote greater attention to issues of climate change, the melting of mountain and ice-sheet glaciers, sea-level rise, and the increasing number of “climate migrants” in the near future.

The substantiation of the presented research results relates to the following key questions:

- **Glaciers as indicators of climate change**, which can be studied using traditional methods of working with sources of geographic information, including teaching aids for teachers and students, online platforms, and specialized websites. In educational practice, an activity-based approach is recommended to enhance students’ understanding and awareness of rhythmic processes in the geographic environment.
- **Applying methods of geology, paleomorphology, and paleogeography** in the educational process enables students to understand glaciological processes in an accessible way—from the formation of ancient glaciations in Europe and North America to the present-day melting of mountain glaciers. The consequences of cooling or warming have catastrophic impacts on biodiversity loss in specific locations, the formation of modern landforms and landscapes, and the use of cultural heritage by local communities.
- **The importance of snow cover** lies not only in its impact on nature and the economy but also

in its potential as a subject of study for students in general secondary education. This includes theoretical exploration of the processes of snow, hail, glaze, ice crust, blizzards, and heavy snowfalls, correlated with an understanding of the consequences of global warming in different regions of the world, particularly in Ukraine.

- **Interactive methods of studying mountain glaciers** in Iceland, Scandinavia, the Alps, and the Himalayas enable students to observe their retreat and the resulting impact on shifting national borders. During desk-based research, it is essential to foster students’ social skills, ability to collaborate and communicate, as well as their capacity for independent work.

**The novelty of the study** lies in the development of methodological foundations for studying glaciological issues of the 21st century within educational practice, encouraging active involvement of geography teachers and students in the Decade of Action for Cryosphere Sciences (2025–2034). The popularization of glaciological knowledge can be achieved through interactive shows, exhibitions, storytelling, excursions, visits to natural history museums and scientific centers, and presentations of popular science books. These forms of engagement stimulate children’s imagination, foster interest in science through play and discovery, and enhance scientific literacy, creative potential, and critical thinking. They also promote collaboration and peer learning, thereby shaping a new type of scientific citizenship.

### References [Література]

1. Resolution adopted by the General Assembly International Year of Glaciers’ Preservation, 2025. [on the report of the Second Committee (A/77/443, para. 32) on 14 December 2022]. URL: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n22/755/97/pdf/n2275597.pdf>
2. Davison, B. J., Hogg, A. E., Gourmelen, N. and others (2023). Annual mass budget of Antarctic ice shelves from 1997 to 2021. *Science Advances*. 9(41). DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adi0186>
3. Geological heritage—bright evidence of earth evolution (2011). *Materials of Second International theoretical and practical conference*. Kyiv: Logos. 142 p. ISBN 978-966-171-396-2 [In Ukrainian]. [Геологічні пам’ятки — яскраві свідчення еволюції Землі : зб. матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції. К. : Логос, 2011. 142 с. : іл. ISBN 978-966-171-396-2]
4. Hansen, K. Venezuela’s Last Glacier, Humboldt, Has Melted Away. NASA Earth Observatory. 07 June 2024. URL: <https://scitechdaily.com/venezuelas-last-glacier-humboldt-has-melted-away/>
5. Adamenko, O. M., Mosiuk, M. I. (2020). Paleogeographical changes of the playstocene-holocene landscapes of the prykarpatia (according to the sections of the geological sight “Starunia”). *Ukr. geogr. ž.*, 3, 30–35. [In Ukrainian]. [Адаменко О. М., Мосюк М. І. (2020). Палеогеографічні зміни плейстоцен голоценових ландшафтів Прикарпаття (за даними розрізів геологічної пам’ятки «Старуня»). *Укр. геогр. журн.*, 3, 30–35. ]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.03.030>
6. Schoonmaker, P. K., Foster, D. R. (1991). Some Implications of Paleoecology for Contemporary Ecology. *Botanical Review*, 57(3), 204–245.

7. Glacier Monitoring in Switzerland (GLAMOS). URL: <https://swiss-glaciers.glaciology.ethz.ch/en/#/A54m-03> GLAMOS 1881–2023, The Swiss Glaciers 1880–2022/23, Glaciological Reports No. 1–142, Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), published since 1964 by VAW / ETH Zurich. DOI: [https://doi.org/10.18752/glrep\\_series](https://doi.org/10.18752/glrep_series)
8. Amos, J. Climate change: Satellite maps warming impact on global glaciers. *BBC Science*. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-65399580>
9. Lapointe Francois and Bradley Raymond S. Little Ice Age abruptly triggered by intrusion of Atlantic waters into the Nordic Seas. *Science Advances*. 15 Dec 2021. 7(51). DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abi8230>
10. Glaciers, the fragile mirrors of climate change. The UNESCO Courier. 2025. January–March. 56 p. URL: <https://courier.unesco.org/en/latest>
11. The GLaMBIE Team (2025). Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023. *Nature*, Vol. 639, p. 382–388. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08545-z>
12. Space Weather Prediction Center. National Oceanic and Atmospheric Administration USA. URL: <https://www.space-weather.gov/products/solar-cycle-progression>
13. ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment (2004). Cambridge University Press. 144 p.
14. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Chapter 2: High Mountain Areas. URL: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/>
15. Portal Glacier Change. URL: <https://glacierchange.com/en/>
16. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD). Water, Ice, Society, and Ecosystems in the Hindu Kush Himalaya. URL: <https://hkh.icimod.org/hi-wise/>
17. Yatsenko, V. S., & Kravchenko, V. A. (2011). All about water for future generations. Nature of water: Textbook for 6–7 grades of general education schools. K.: Editorial board of the magazine *Water supply and drainage*. 152 p. (Series *Rational use and protection of water resources*). [In Ukrainian]. [Яценко В. С., Кравченко В. А. (2011). Все про воду для майбутніх поколінь. Природа води : Навч. посібник для 6–7 кл. загальноосвіт. шк. К.: Редакція журналу «Водопостачання та водовідведення», 2011. 152 с. (Серія «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)].
18. Sun, N., Brandon, A. D., Forman, S. L. & Waters, M. R. (2021). Geochemical evidence for volcanic signatures in sediments of the Younger Dryas event. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 312, 57–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.07.031>
19. Maslyak, P. O., & Shyshchenko, P. G. (1994). Textbook on the Geography of Ukraine. A Teacher's Guide. Kyiv: Geneza, 448 p. ISBN 5-7707 5872-4. [In Ukrainian]. [Масляк П. О., Шищенко П. Г. Хрестоматія з географії України : Посіб. для вчителя. К.: Генеза, 1994. 448 с. ISBN 5-7707 5872-4].
20. “Small Cities—Big Impressions”: Schedule of October Events. We invite you to visit! Association of Ukrainian Cities. [In Ukrainian]. [«Малі міста — великі враження»: розклад жовтневих подій. Запрошуємо відвідати! Асоціація міст України.]. URL: <https://www.auc.org.ua/novyna/mali-mista-velyki-vrazhennya-rozklad-zhovtnevyh-podiy-zaprosuyemo-vidvidaty>
21. Dangerous natural phenomena. Educational and methodological center of civil protection and life safety of Khmelnytsky region. [In Ukrainian]. [Небезпечні стихійні явища. Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Хмельницької області.]. URL: <https://nmc.dns.gov.ua/km/news/ostanni-novini/119>
22. Pilorz, W., Laskowski, I., Surowiecki, A., & Łupikasza, E. (2023). Fatalities related to sudden meteorological events across Central Europe from 2010 to 2020. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420923001024>
23. Severe Weather 101 – Types of Winter Weather. NOAA National Severe Storms Laboratory. URL: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/winter/types/>
24. ICIMOD. (2023). Water, ice, society, and ecosystems in the Hindu Kush Himalaya: An outlook. (P. Wester, S. Chaudhary, N. Chettri, M. Jackson, A. Maharjan, S. Nepal, & J. F. Steiner [Eds.]). ICIMOD. DOI: <https://doi.org/10.53055/ICIMOD.1028>
25. Marzeion, B., Hock, R., Anderson, B., Bliss, A., Champollion, N., Fujita, K., et al. (2020). Partitioning the uncertainty of ensemble projections of global glacier mass change. *Earth's Future*. 8, e2019EF001470. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019EF001470>
26. Salyuk, M., Mykyta, M. (2020). Methodological materials for studying the course Geography of the Carpathian Region (for students of the specialty 8.014 — Secondary education. Geography) / ed. M. Salyuk, M. Mykyta. Uzhgorod: Publishing House of State Higher Educational Institution “UzhNU.” 76 p. [In Ukrainian]. [Салюк М., Микита М. Методичні матеріали до вивчення курсу Географія Карпатського регіону (для студентів спеціальності 8.014 — Середня освіта. Географія). Ужгород : Видав. ДВНЗ «УжНУ», 2020. 76 с.].

**The article was received by the editorial office on 02/22/2025,  
accepted for publication on 03/05/2026.**

Яценко В. С.

 0000-0002-7948-2983

Інститут педагогіки НАПН України, Київ

## До методики вивчення гляціологічних проблем XXI століття в освітній практиці

УДК 551.32:551.583:556.1:37.016:91:502/504(045)

Мета цієї публікації полягає в підвищенні поінформованості вчителів географії про важливість ролі об'єктів кріосфери у кліматичній системі та гідрологічного циклу, а також екологічні, соціальні та економічні наслідки змін клімату. Використано методи, як теоретичні, від абстрактного до конкретного, комплексні (абстрагування, аналізу і синтезу, індукції та дедукції, частково моделювання), а також емпіричні методи дослідження (спостереження, порівняння, вимірювання, експерименту). Гляціологічні дослідження в освітньому процесі можуть розпочинатися від першого снігу, граду, ожеледі, ожеледиці, хуртовини, сильних снігопадів у кореляції усвідомлення наслідків глобального потепління і змін клімату з конкретними проявами в Україні. Гірські льодовики Ісландії, Скандинавії, Альп та Гімалаїв слугують індикаторами змін клімату, впливають на зміни ландшафтів і навіть положення державних кордонів окремих країн. Матеріали розраховані на посилення робіт з учнями із основ гляціології, де важливо формувати соціальні навички, вміння взаємодіяти, спілкуватися, а також самостійно працювати. Десятиліття дій для наук про кріосферу 2025–2034 рр. забезпечує освітню систему та розширює можливості вчителів географії, щоб навчити учнів краще розуміти природне середовище та діяти відповідально. На часі створення науковцями розробок креативного та інтегрованого контенту, щоб стимулювати цікавість і наближення гляціологічної науки до учнівської молоді. Новизна полягає у формуванні методичних основ вивчення гляціологічних проблем XXI ст. в освітній практиці для потреб залучення вчителів і учнівської молоді до виконання заходів Десятиліття дій для наук про кріосферу 2025–2034 рр.

*Ключові слова:* кріосфера, гляціологічні дослідження, гірські льодовики, сніг, популяризація науки, методика навчання географії.

### Цитування:

Яценко В. С. (2026). До методики вивчення гляціологічних проблем XXI століття в освітній практиці. *Український географічний журнал*. 2026. 1, 116–127. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2026.01.116>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026.



Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## **Петро Григорович ШИЩЕНКО**



**Петро Григорович Шищенко є визнаним лідером в українській географічній науці, який має незаперечний авторитет талановитого вченого, організатора науки і освіти, громадського діяча, громадянина. П.Г. Шищенко широко відомий у наукових колах як в Україні, так і в країнах близького і далекого зарубіжжя як вчений фізико-географ, ландшафтознавець, котрий своїми працями зробив вагомий внесок у розвиток фізико-географічної науки, ландшафтознавства, ландшафтної екології, країнознавства, освіти та культури.**

8 лютого 2026 р. Петру Григоровичу виповнилося 90, що й стало нагодою звернутися до яскравого життєпису педагога, вченого, громадського діяча. Родовід Петра Шищенка має витoki на Житомирщині, в невеличкому селі Покришів, що на Брусилівщині. Згадуючи дитинство, Петро Григорович розповідав: «Сім'я з 1936 року певний час проживала в Брусиліві, де батько працював у відділі народної освіти. У 1940 р. батька мобілізували на армійські курси, і більше ми його не бачили. Коли розпочалася війна, мати з дітьми повернулася в Покришів, в якому жили її батьки. Мамині сестри і брат допомагали їй доглядати чотирьох дітей: старшого брата Володимира, мене, молодших сестер Світлану і Лідію. Тут нас і знайшла страшна звістка з фронту про загибель батька, капітана Шищенка Г. П., 1 грудня 1943 року...».

Після визволення села у 1943 р. Петро пішов у перший клас Покришівської семирічки. У 5–7 класах хлопець захоплювався читанням, і ще до закінчення семирічки перечитав усе, що було в сільській бібліотеці, самостійно навчився грати в шахи. Після закінчення семирічки з похвальною грамотою Петро вступив до Коростишівського педагогічного училища, яке славалося підготовкою висококваліфікованих педагогічних кадрів

середньої ланки. Чотири роки навчання в училищі були роками інтелектуального, фахового й фізичного зростання його як особистості.

У 1954 р. Петро Шищенко отримав диплом з відзнакою і кваліфікацію «вчитель математики 5-7-х класів» з правом викладання мови, літератури і фізичного виховання. Але Петро вирішив неодмінно отримати вищу освіту в одному з інститутів Києва. Приїхавши з цією метою до столиці, він випадково познайомився зі студентами-географами, які щойно повернулися після практики з Кавказу. І тоді Петро зрозумів: це саме те, що він шукав і знайшов. Так Петро Шищенко опинився у приймальній комісії Київського державного педагогічного університету імені М. Горького (нині — Український державний університет імені Михайла Драгоманова).

У 1957 р. природничо-географічний факультет педагогічного інституту об'єднали з географічним факультетом Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка (нині — Київський національний університет імені Тараса Шевченка). Тоді визначальним у виборі майбутньої роботи для Петра Григоровича став спецкурс з ґрунтознавства, який вела професор Наталія Борисівна Вернандер. У студентські роки Петро Шищенко працював інструктором з туризму в Карпатах, де проходив виробничу практику. Можливо, саме там, на базі в селищі Ясіня, розпочалося його становлення як майбутнього організатора географічної науки, народилося почуття відповідальності за колектив, який йому довірили.

Набувши практичних умінь і навичок у ґрунтознавчих експедиціях, восени 1961 р. Петро Григорович успішно склав вступні іспити до аспірантури при кафедрі фізичної географії рідного університету. Науковим керівником було призначено завідувача цієї кафедри і декана географічного факультету, Олександра Мефодійовича Маринича, з діяльністю якого пов'язана ціла епоха

в історії української географії др. пол. XX — поч. XXI ст. Після завершення аспірантури Петра Григоровича було зараховано на посаду асистента кафедри фізичної географії, де через рік він успішно захистив кандидатську дисертацію «Природні комплекси і фізико-географічне районування Лівобережного Полісся УРСР».

Від того часу й надалі наукове ландшафтознавство в усіх його вимірах стало для Петра Григоровича незрадливою любов'ю на все життя. У 1969 р. його було призначено заступником декана географічного факультету, а у 1971 р. обрано на посаду завідувача кафедри фізичної географії Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка. У 1984 р. П. Г. Шищенко захистив докторську дисертацію на тему «Принципи і методи ландшафтного аналізу в регіональному проектуванні (на прикладі Української РСР)». Наступного року Вчена рада Київського університету призначила Петра Григоровича деканом географічного факультету. Протягом 1989–1992 рр. П. Г. Шищенко працював на посаді проректора з навчальної роботи природничих факультетів університету. У період 1994–1999 рр. працював деканом географічного факультету. З 1995 до 2000 р. обіймав посаду завідувача кафедри географії України, а до 2022 р. включно працював на посаді професора цієї кафедри.

У галузі теорії фізичної географії П. Г. Шищенко створив новий науковий напрям: розроблено теоретичні положення, визначено об'єкт, предмет, зміст і послідовність ландшафтного аналізу в регіональному проектуванні, сформульовано основи ландшафтно-функціонального, історико-ландшафтного, ландшафтно-структурного і проектного принципів, розвинуто уявлення про сучасний ландшафтогенез. За результатами багаторічних експедиційних досліджень вченим встановлено закономірності просторової диференціації ландшафтів України, проведено їхню класифікацію, обґрунтовано оригінальні схеми ландшафтного районування території України і Північної Євразії з виявленням характерних для цих регіонів систем ландшафтно-зональності.

П. Г. Шищенко одним із перших в географічній науці розв'язав проблему визначення й оцінювання стійкості ландшафтів, їхньої здатності зберігати інваріантну структуру за певних режимів природного функціонування та антропогенних навантажень у зональних діапазонах фізико-географічних умов. Під керівництвом та за безпосередньої участі вченого у створеній ним лабораторії ландшафтно-екології досліджувалися природно-антропогенні фактори міграції радіонуклідів у геосистемах 30-кілометрової зони

впливу Чорнобильської АЕС. Також було виконано ландшафтні дослідження в районах розташування Запорізької, Південноукраїнської, Рівненської атомних електростанцій. П. Г. Шищенко започаткував власну наукову школу ландшафтознавців-геоекологів, а також є одним із фундаторів української наукової школи еколого-географічного аналізу в регіональному проектуванні.

Нині Петро Григорович Шищенко — доктор географічних наук, заслужений професор Київського національного університету імені Тараса Шевченка, почесний академік Національної академії педагогічних наук України, Заслужений діяч науки і техніки України, почесний професор Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, почесний доктор Ужгородського національного університету.

Петро Григорович є автором понад 500 наукових праць, 22 монографій, 45 підручників і навчальних посібників. П. Г. Шищенко був членом багатьох спеціалізованих вчених рад із захисту дисертацій, підготував 11 докторів і 29 кандидатів географічних наук. Петро Григорович тричі (у 1993–2006 рр.) очолював експертну раду з географічних наук Вищої атестаційної комісії України.

Петро Григорович був членом редколегій, автором статей і карт в «Українській географічній енциклопедії», «Національному атласі України», «Екологічній енциклопедії України». Був багаторічним членом редакційних колегій «Українського географічного журналу» і видання «Географія та економіка в рідній школі», а також відповідальним редактором наукового збірника «Фізична географія та геоморфологія» та науковим консультантом журналу «Ландшафтознавство».

Протягом 1995–2013 рр. П. Г. Шищенко — президент Українського географічного товариства. Взяв особисту участь у Міжнародних географічних конгресах в Гаазі (1996), Сеулі (2000), Глазго (2004), Тунісі (2008), Кельні (2012). Петро Григорович нагороджений медалями НАПН України «Ушинський К. Д.», «Григорій Сковорода», «Володимир Мономах», «Іван Франко», є лавреатом Державної премії України в галузі науки і техніки.

Щиро вітаємо Петра Григоровича з ювілеєм! Зичимо довгих років життя й подальших успіхів на творчій ниві!

**Колектив географічного факультету  
Київського національного  
університету імені Тараса Шевченка,  
колектив Інституту географії НАН України,  
редколегія «Українського географічного  
журналу»**



## Євгенія Іванівна СТЕЦЕНКО



У ці весняні тривожні дні ми щиро вітаємо з ювілеєм нашу дорожку колегу — **Євгенію Іванівну Стеценку** — заступника головного редактора «Українського географічного журналу», заслуженого працівника культури України, почесного члена Українського географічного товариства. Сотні науковців і тисячі авторів праць різного профілю знають її як досвідченого фахівця-географа, вимогливого наукового редактора, одного з ініціаторів створення цілої низки українських енциклопедичних та науково-періодичних видань.

Євгенія Іванівна народилася в м. Малин Житомирської області. Спершу навчалася в Малинській семирічній школі № 3, а надалі — в середній школі № 1. З великою повагою вона згадує своїх учителів, які в тяжкі повоєнні роки прищеплювали учням найкращі людські якості, прагнення до знань, до розвитку, активної громадянської позиції.

Вибір майбутнього фаху був пов'язаний з любов'ю до мальовничої природи Поліського краю та, напевно, з романтикою професії географа. Навчання на географічному факультеті Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка, який Євгенія Іванівна закінчила з відзнакою у 1958 р., — це незабутні лекції високопрофесійних викладачів, науковий студентський гурток, практики.

Після закінчення університету щедро доля привела Є. І. Стеценку до щойно створеного видавництва — Головної редакції «Української радянської енциклопедії», що й визначило головний вектор її подальшої роботи — науково-редакційна діяльність. Тут Євгенія Іванівна набула унікального досвіду з методики підготовки енциклопедичних видань та організації процесу їх створення, пройшовши шлях від молодшого редактора до завідувача (впродовж майже двох десятиліть) редакції географії. Євгенія Іванівна взяла участь у підготовці першої серед республік колишнього СРСР сімнадцятитомної «Української радянської енциклопедії» (1959–1968), фахових енциклопедичних словників, галузевих енциклопедій і багатьох ін. видань. Набутий досвід, фахова підготовка, високі організаційні здібності Є. І. Стеценко проявилися повною мірою під час створення тритомної «Географічної енциклопедії України» (1989–1993) — унікального за змістом і структурою видання.

Продовженням енциклопедичного напрямку діяльності Є. І. Стеценко стала підготовка тритомної «Екологічної енциклопедії» (2006–2008), видання якої було ініційовано Всеукраїнською екологічною лігою. Як відповідальний редактор, Євгенія Іванівна сформувала напрями викладення змісту видання і втілила підхід створення класичної енциклопедії із залученням широкого авторського колективу.

Другий важливий вектор діяльності Євгенії Іванівни пов'язаний із започаткуванням у 1992 р. «Українського географічного журналу». Відтоді Є. І. Стеценко була заступником головного редактора і науковим редактором, піклувалася про наповнення журналу новими знаннями, здійснювала редагування статей, опікувалася відповідністю публікацій сучасним вимогам тощо. Євгенія Іванівна щедро ділиться своїми знаннями та досвідом, особливо з молодими науковцями.

Є. І. Стеценко брала активну участь у заходах Українського географічного товариства, зокрема щодо вшанування пам'яті видатних географів, створення й функціонування музею М. М. Миклухо-Маклая.

А ще Євгенія Іванівна безмежно віддана своїй родині й відчувається дуже щасливою у колі чоловіка, доньки, внука, внучки та правнука.

Багаторічна плідна діяльність Є. І. Стеценко була відзначена двома Грамотами Верховної Ради України (1983 і 2002 р.), у 2004 р. їй було присвоєно звання «Заслужений працівник культури України». За вагомих особистий внесок у розвиток української журналістики Євгенія Іванівна була нагороджена Дипломом і медаллю «Незалежність» Національної спілки журналістів України, відзнакою «Золота гілка» Всеукраїнської екологічної ліги, обрана почесним членом Українського географічного товариства.

Щиро вітаємо Євгенію Іванівну з її золотою осінню, бажаємо здійснення всіх творчих задумів, невичерпної наснаги, щастя і міцного здоров'я в родинному колі та в колективі її щирих друзів.

**Колектив Інституту географії НАН України,  
редколегія «Українського географічного  
журналу»**

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

До розгляду редакція «Українського географічного журналу» приймає лише оригінальні, не опубліковані раніше наукові статті, які висвітлюють актуальні питання, що є предметом дослідження природничо- та суспільно-географічних наук, а також географічної картографії, геоінформатики, краєзнавства та географічної освіти. Статті, що не відповідають профілю журналу, в яких не повною мірою дотримано рекомендації для авторів (див. сайт журналу), відхиляються редакційною колегією.

Для публікації в журналі приймаються рукописи українською та англійською мовами. Обов'язкова вимога для авторів з України, які надсилають статті англійською мовою, — до редакції подається також переклад рукопису українською мовою.

**Обсяг:** наукових статей — 14 сторінок (разом із резюме, таблицями та ілюстративним матеріалом), оглядових — 6–7 сторінок, інформації та рецензії — 3–4 сторінки (кг 12, міжрядковий інтервал — 1,5).

**Структура статті:** індекс УДК, прізвище, ім'я та по батькові автора чи авторів (повністю українською мовою та *їхня транслітерація англійською мовою*), ORCID автора (авторів), назва статті, резюме, ключові слова українською та у перекладі англійською (для наукових статей), текст статті. Список літератури та назва установи, де працює автор, — в оригіналі та переклад англійською мовою.

У статті мають бути виділені **рубрики:** «Актуальність теми дослідження»; «Стан вивчення питання, основні праці»; «Мета дослідження»; «Методи дослідження»; «Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів» (може бути з підрубриками); «Висновки».

У **резюме** обсягом не менше 800 знаків українською мовою та англійською — не менше 1800 знаків мають бути викладені положення відповідно до структури статті (мета, методи дослідження, результати, новизна) і наведені ключові слова статті (не менше п'яти).

**Список літератури** подається з нумерацією за порядком посилань по тексту, оформлений згідно з такими вимогами: для монографій — прізвища та ініціали всіх авторів, повна назва

видання, рік, кількість сторінок; для статей у періодичних виданнях — прізвища та ініціали всіх авторів, повна назва праці; назва журналу, рік видання, сторінки, якщо є — DOI.

**У списку літератури для джерел не латиницею обов'язково додається англійський переклад** (прізвища авторів — у транслітерації).

Посилання на джерела в статті — у квадратних дужках згідно з номером у списку літератури.

Таблиці, картографічний та ілюстративний матеріал нумеруються, на них робляться посилання в тексті.

Вся графіка має бути комп'ютерною, виконаною у чорно-білому варіанті в одному з форматів: TIFF, BMP, JPEG з роздільністю не менш 350 dpi. Обов'язково подавати окремо файли рисунків, графіків, схем тощо в електронному вигляді.

Кольорові рисунки не приймаються, якщо це питання попередньо не узгоджене з редакцією.

**Правила набору:** текст статті набирається в Microsoft Word з усіма формулами й таблицями. Файли приймаються електронною поштою.

**Автори відповідають** за точність викладених фактів, цитат, статистичних даних, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен.

Автори подають *відомості про себе:* прізвище, ім'я, по батькові, вчене звання, вчений ступінь, місце роботи, посада, адреса, телефони, E-mail.

Статті, що надходять до редакції «Українського географічного журналу», рецензуються. Прийняті до друку статті проходять наукове та літературне редагування.

Взаємовідносини авторів із редакцією врегульовуються Ліцензійним договором про передачу авторських прав (зразок — на сайті журналу).

**Для наукових статей надається цифровий ідентифікатор об'єкта — DOI (Digital Object Identifier) — універсальне гіперпосилання для пошуку публікацій в електронному науковому просторі.**

### Статті надсилати на адресу:

Редакція «Українського географічного журналу», Інститут географії НАН України, вул. Володимирська, 44, Київ 01054.

**Тел.** +38 (044) 234–04–92.

**E-mail:** [geojournal@ukr.net](mailto:geojournal@ukr.net); **офіційний сайт журналу:** <https://ukrgeojournal.org.ua>

Головний науковий редактор д. геогр. н. **А. А. Мозговий**  
Провідний науковий редактор **О. В. Горміз**  
Комп'ютерна верстка **В. М. Горбаченка**

*Український географічний журнал. 2026. № 1(133). 1–130 с.*



ISSN 1561-4980  
9 771561 498001 >