

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Ministry of Education and Science of Ukraine
Taras Shevchenko National University of Kyiv

**Фізична географія
та геоморфологія** | **Physical Geography
and Geomorphology**

Науковий журнал
Scientific Journal

Том 47
Випуск 3-4 (125-126)
Volume 47
Issue 3-4 (125-126)

Київ
2024

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЯ

Науковий журнал “Фізична географія та геоморфологія” публікує оригінальні статті з усіх напрямів фізичної географії та геоморфології, зокрема: теоретичних та методологічних проблем географії, ландшафтознавства, геоecології, палеоеcології, палеогеографії четвертинного періоду, ґрунтознавства, метеорології, кліматології, гідрології, структурної, динамічної, еcологічної та палеогеоморфології. Окремі рубрики журналу присвячені використанню ГІС у природничо-географічних дослідженнях, організації природничого туризму, геоплануванню, природоохоронній діяльності, управлінню еcологічними проектами та географічній освіті.

Заснований у 1970 р.

Виходить шість разів на рік.

Публікації приймаються українською та англійською мовою.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Наталія П. Герасименко (**головний редактор**), *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*,
natalia.gerasimenko@knu.ua
Сергій Ю. Бортник (**заступник головного редактора**),
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Петро Г. Шищенко (**заступник головного редактора**),
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Яцек Шманьда (**заступник головного редактора**),
Краківський педагогічний університет
Даніель Верес, *Клузький університет імені Бабеша-Бойяї*
Григорій І. Денисик, *Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського*
Лідія Ф. Дубіс, *Львівський національний університет імені Івана Франка*
Т. Каліцкі, *Університет імені Яна Кохановського*
Іван П. Ковальчук, *Національний університет біоресурсів і природокористування України*
Олександр О. Комлев, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Карлос Кордова, *Університет штату Оклахома*
Марчел Міндреску, *Сучавський університет імені Штефана Великого*
Олександр Г. Ободовський, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
Володимир М. Пашенко, *Українське географічне товариство*
Богдан Т. Рідуш, *Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*
Віктор М. Самойленко, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
Єва Смольска, *Варшавський університет*
Сергій І. Сніжко, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
Володимир В. Стецюк, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
Юрій Д. Шуйський, *Одеський національний університет імені І. І. Мечникова*

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Тетяна М. Лаврук
tetiana.lavruk@knu.ua

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Ілля В. Кравчук
elijah.kravchuk@gmail.com

Редакція “Фізична географія та геоморфологія”
Географічний факультет
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
просп. Глушкова, 2А, Київ, МСП–680, Україна

(044) 521 32 28
Web: <https://phgg.knu.ua>

*Рекомендований до друку
Вченою радою географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2024

PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOMORPHOLOGY

Physical Geography and Geomorphology publishes original research papers, review articles and short contributions in all areas of physical geography and geomorphology, namely: theoretical and methodological research in physical geography and geomorphology, landscape studies, geoecology, palaeoecology, Quaternary palaeogeography, soil science, meteorology, climatology, hydrology, structural, dynamic, ecological and palaeogeomorphology, application of GIS in natural geographic research, and geographical education.

The journal is published since 1970.

Published bi-monthly.

Publications are accepted in Ukrainian and English.

EDITORIAL BOARD

Natalia P. Gerasimenko (**editor-in-chief**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

natalia.gerasimenko@knu.ua

Sergii Yu. Bortnyk (**associate editor**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Petro H. Shyschenko (**associate editor**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Jacek Szymańda (**associate editor**), *Pedagogical University of Krakow*

Daniel Veres, *Babeş-Bolyai University*

Hryhorii I. Denysyk, *Vinnitsia State Pedagogical University*

Lidia F. Dubis, *University of Lviv*

Tomasz Kalicki, *Uniwersytet Jana Kochanowskiego in Kielcach*

Ivan P. Kovalchuk, *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Oleksandr O. Komliev, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Kyiv

Carlos Cordova, *Oklahoma State University*

Marcel Mindrescu, *Ştefan cel Mare University of Suceava*

Oleksandr H. Obodovskyi, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Volodymyr M. Pashchenko, *Ukrainian Geographical Society*

Bohdan T. Ridush, *Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*

Viktor M. Samoilenko, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Ewa Smolska, *University of Warsaw*

Serhii I. Snizhko, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Volodymyr V. Stetsiuk, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Yurii D. Shuiskyi, *Odesa I. I. Mechnykov National University*

Kyiv

EDITORIAL ASSISTANT

Tetiana M. Lavruk

tetiana.lavruk@knu.ua

COPY EDITOR

Elijah V. Kravchuk

elijah.kravchuk@gmail.com

Physical Geography and Geomorphology

Faculty of Geography

Taras Shevchenko National University of Kyiv

2A, Hlushkova prosp., Kyiv, Ukraine

+38 (044) 521 32 28

Web: <https://phgg.knu.ua>

*Recommended for print by
the Scientific Board of Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv*

© Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2024

ЗМІСТ

Оцінка навантаження біогенними елементами в басейні Сули засобами MONERIS Андрій Бончковський, Наталія Осадча	7
Сучасний стан та особливості трансформації меліоративної системи у межах басейну річки Остер Юрій Філоненко	21
Реконструкція рослинності і ґрунтів басейну середньої течії р. Сули на початку передостаннього та останнього міжзледенінь Ілля Кравчук, Наталія Герасименко	28
Визначення розміру шкоди, завданої землі і ґрунтам України воєнними діями: методики розрахунку та актуальні питання Оксана Підкова	35
Геоінформаційне забезпечення класифікації лісів за функціональним призначенням: кейс Шепетівського району Хмельницької області Ганна Стракович	43
Аналіз часового ходу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження за період 2000-2021 років Руслан Коваль	50
Оцінка ефективності регулювання водного стоку міськими зеленими зонами (на прикладі міста Києва) Наталія Корогода	57

CONTENTS

Modelling of the nutrient load in the Sula River basin using the MONERIS Andrii Bonchkovskyi, Natalia Osadcha	7
The current state and features of the transformation of the reclamation system within the Oster River basin Yuriy Filonenko	21
The vegetation and soils reconstruction of the Middle Sula River basin at the beginning of the Last Interglacial and the Holocene Illia Kravchuk, Natalia Gerasimenko	28
Determination of the amount of damage caused to the land and soils of Ukraine by military actions: calculation methods and current issues Oksana Pidkova	35
Geoinformation support of the forest classification by the functional purpose: the case of Shepetivka rayon of Khmelnytskyi region Hanna Strakovych	43
Analysis of the Temporal Trend of HDW Index for the Chernobyl Exclusion Zone during 2000-2021 yrs Ruslan Koval	50
Assessment of the water flow regulation effectiveness by urban green spaces (on the example of Kyiv) Nataliia Korohoda	57

Оцінка навантаження біогенними елементами в басейні Сули засобами MONERIS

Андрій Бончковський , Наталія Осадча

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, пр-т Науки, 37, Київ, Україна, 03028

Реферат

Представлено результати моделювання навантаження сполуками нітрогену і фосфору басейну Сули засобами MONERIS. Модель MONERIS – це напівемпірична концептуальна модель для кількісного розрахунку емісії N і P від точкових і дифузних джерел у водозбірному басейні, яка дозволяє окремо розрахувати шляхи та джерела надходження біогенних елементів. За допомогою емпіричної кривої забезпеченості водним стоком та різницевої інтегральної кривої водного стоку обґрунтовано період моделювання: визначено маловодний та багатоводний роки. Для моделі MONERIS виконано калібрування стоку шляхом розрахунку поправочного коефіцієнту, який залежить від гідрологічного зв'язку між аналітичними одиницями. Встановлено, що загальна емісія нітрогену для басейну Сули за середніх умов за багаторічний період складає 1809,8 т/рік, а фосфору – 196,2 т/рік. Виявлено, що з дифузними джерелами надходить 91 % всього нітрогену, серед них 57 % з підземними водами, що обумовлено переважанням підземного живлення річки та її приток. За рахунок антропогенних джерел вноситься 90 % емісії нітрогену у водозбірному басейні Сули, з яких основним є сільське господарство (55 %). Саме тому найбільші значення емісії нітрогену спостерігаються в аналітичних одиницях з домінуванням площ орних земель. Встановлено, що з дифузними джерелами до водозбірному басейну Сули надходить 71 % фосфору, з яких домінуючу частку вносять підземні води (39 %) та урбанізовані території (22 %). Виявлено, що антропогенні джерела складають 87 % загальної емісії фосфору, з яких 50 % вносять міські джерела. Унаслідок цього найбільші значення емісії фосфору виявлено в аналітичних одиницях з найвищим рівнем урбанізації. Окремо визначено ефективність моделювання та порівняно модельовані емісії біогенних елементів з результатами, отриманими іншими методами.

Ключові слова

Нітроген, фосфор, емісія біогенних елементів, Сула, MONERIS

Надійшла до редакції: 16 червня 2024 / Прийнята: 20 червня 2024 / Опублікована онлайн: 30 червня 2024

Modelling of the nutrient load in the Sula River basin using the MONERIS

Andrii Bonchkovskiy, Natalia Osadcha

Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Nauky Ave., Kyiv, 03028, Ukraine

Abstract

The results of modeling of the load of nitrogen and phosphorus compounds in the Sula River basin using MONERIS are discussed. The MONERIS model is a semi-empirical conceptual model for quantifying N and P emissions from point and diffuse sources in a drainage basin, which allows for separate calculation of nutrient pathways and sources. The modelling period is based on the residual mass curve and the flow duration curve; dry and wet years are identified. For the MONERIS model, the runoff was calibrated by applying a correction factor that depends on the hydrological link between the analytical units. It was established that the total emission of nitrogen of the Sula River basin over a long-term period and under average conditions is 1809.8 t/year and phosphorus emission is 196.2 t/year. It appears that diffuse sources supply 91 % of the total nitrogen, including 57 % from groundwater, due to the predominance of groundwater supply to the river and its tributaries. Anthropogenic sources contribute to 90 % of nitrogen emissions in the Sula River basin, with agriculture being the main source (55 %). Therefore, the highest values of nitrogen emissions are observed in the analytical units with the predominance of arable land. It was revealed that 71 % of phosphorus enters the Sula River basin through diffuse sources, of which groundwater (39 %) and urban areas (22 %) contribute the dominant share. Anthropogenic sources were estimated to contribute 87 % of total phosphorus emissions, with urban sources contributing 50 %. As a result, the highest values of phosphorus emissions were identified in the analytical units with the highest level of urbanization. The efficiency of the modelling was determined additionally and the modelled nutrient emissions were compared with the results obtained by other methods.

Keywords

Nitrogen, phosphorous, nutrient emission, Sula, MONERIS

Received: 16 June 2023 / Accepted: 20 June 2024 / Published online: 30 June 2024

1. Вступ

Надмірне антропогенне навантаження обумовило порушення природних циклів нітрогену та фосфору, у результаті чого в природних екосистемах з'явився ряд екологічних проблем. Водні об'єкти є найбільш вразливими до порушення природних циклів нітрогену

та фосфору, адже вони виступають зонами розвантаження міграційних потоків у межах водозбору. Підвищений вміст сполук нітрогену та фосфору став головним чинником погіршення екологічного стану поверхневих вод та призвів до масової евтрофікації водойм.

В Україні до цього часу була поширена практика визначення навантаження біогенних елементів від точкових

Corresponding author:

Andrii Bonchkovskiy, Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Nauky Ave., Kyiv, 03028, Ukraine
Email: andriybonch19@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

джерел, незважаючи на те, що саме дифузні джерела є головним фактором погіршення стану поверхневих вод. Це, головним чином, пов'язано зі складністю розрахунку надходження біогенних елементів від дифузних джерел.

Для оцінки емісії біогенних елементів у світовій практиці найчастіше використовують математичні моделі, такі як фізико-математична модель SWAT (Arnold, 2012), а також напівемпірична концептуальна модель MONERIS (Behrendt et al., 2000). Разом із модельним підходом використовуються також простіші розрахункові методи (Behrendt & Dannowski, 2005; Khrisanov & Osipov, 1993; Kondratiev et al., 2011; 2013; Wojanowski et al., 2022; Bonchkovskiy & Osypov, 2024), однак останні не дозволяють простежити просторову мінливість джерел навантаження. В країнах басейну Дунаю для оцінки виносу біогенних елементів та розроблення сценаріїв антропогенних практик використовують модель MONERIS. Модель MONERIS (MODelling Nutrient Emissions in RIVER Systems) – це напівемпірична концептуальна модель для кількісного розрахунку емісії біогенних елементів від точкових і дифузних джерел у водозбірному басейні (Behrendt et al., 2000; 2002; 2003). Модель MONERIS найкраще підходить для оцінки емісії біогенних елементів у водозбірних басейнах з незначною кількістю даних, для яких не можуть бути налаштовані інші моделі (Caille et al., 2012). Розрахунковими параметрами в моделі MONERIS є навантаження водозбірного басейну нітрогеном та фосфором від точкових та дифузних джерел. У моделі виділяється сім основних шляхів надходження біогенних елементів (Venohr et al., 2009): точкові джерела (промислові скиди, очисні споруди); пряма емісія разом з атмосферним осадженням на водну поверхню; поверхневий стік; водна ерозія; гончарний дренаж (відсутній на досліджуваній території); підземні води; міські території.

Модель MONERIS розроблялася під керівництвом Хорста Бехретдта із колегами для розрахунку емісії біогенних елементів у водозбірних басейнах Німеччини (Behrendt et al., 1999; 2000). На основі широкої апробації моделі було сформовано її методологію та запропоновано ряд коефіцієнтів для калібрування. Пізніше модель було апробовано для транскордонного басейну річки Одра (Німеччина, Польща, Чехія) (Behrendt et al., 2002; 2003; Behrendt & Dannowski, 2005), що дозволило не лише удосконалити методологію, а й дало змогу виявити проблему різної роздільної здатності вхідних даних залежно від системи статистичного обліку окремих держав. Саме завдяки моделюванню водозбірного басейну Одри модель набула міжнародного значення.

Згодом модель MONERIS було апробовано для водозбірних басейнів великих річок Європи, зокрема річок Ельби (Berlekamp et al., 2007) та Рейну (De Wit & Behrendt, 1999; De Wit, 2000), По (Palmeri et al., 2005), Вісли (Kowalkowski & Buszewski, 2006; Kronvang et al., 2007; Kowalkowski et al., 2012). Опісля модель MONERIS почала використовуватися для моделювання навантаження біогенними елементами водозбірних басейнів середніх річок, таких як Везеру в Німеччині (Hirt et al., 2008; 2012), Акіосу в Греції (Nikolaidis et al., 2009). Почали з'являтися праці з моделювання водозбірних басейнів малих річок

(Tzoraki et al., 2014; Siman & Veliskova, 2020), що показало валідність моделі навіть для річок такого рангу.

Результати апробації моделі MONERIS для транскордонних водозбірних басейнів вперше представлено для басейнів річок Дунай (Schreiber et al., 2003; 2005), Вісла (Kowalkowski & Buszewski, 2006; Kowalkowski et al., 2012) і Тиса (Fischer et al., 2018). Детальніше модель була використана для моделювання емісії біогенних елементів у басейні Західного Бугу (у межах Львівської області) (Terekhanova, 2009), що згодом лягло в основу кількох публікацій (Tränckner et al., 2012; Helm et al., 2013). Приклади моделювання водозбірних басейнів, повністю розташованих на території України, за допомогою моделі MONERIS наразі відсутні.

Тому метою статті є апробація моделі MONERIS для розрахунку емісії нітрогену та фосфору у водозбірному басейні Сули, а також порівняння отриманих даних з раніше розрахованими значеннями емісії біогенних елементів методом масового балансу, опублікованих у праці (Bonchkovskiy & Osypov, 2024).

2. Матеріали і методи

2.1. Територія дослідження. Річка Сула – п'ята за розміром ліва притока Дніпра довжиною 363 км. Сула бере початок на схилах Середньоруської височини поблизу однойменного села Сумського району і впадає у Кременчуцьке водосховище. Площа водозбірного басейну Сули становить 19 600 км² (Рис. 1).

Для басейну р. Сули властивий загальний похил території із північного сходу на південний захід. У його межах відзначаються помірно-континентальні кліматичні умови із середніми температурами січня від -2,6 °С до -4,3 °С, а липня – від +19,5 °С до +20,8 °С. Середня багаторічна кількість опадів складає 624 мм. Показник лісистості басейну р. Сули невисокий і становить 13,9 %. Найпоширенішими ґрунтами є чорноземи типові малогумусні та слабогумусні.

Спостереження за гідрологічним режимом Сули та її найбільших приток здійснюється на 8 гідрологічних постах. Середні багаторічні витрати води в нижній течії р. Сули у створі м. Лубни за період 1991–2020 рр. склали 21 м³/с. Сула характеризується змішаним типом живлення.

Основними факторами антропогенного навантаження в басейні Сули є сільськогосподарська діяльність, наявність міст, до яких тяжіє населення, і водокористування. Про активність рослинництва у басейні Сули можна судити з високого значення показника розораності (~70 %). Урбанізовані території займають лише 3,8 % території річкового басейну. Станом на 2020 рік у межах басейну Сули проживало 523,5 тис. осіб. Найбільші міста – Ромни, Лубни та Прилуки із населенням приблизно 39 тис., 45 тис. та 53 тис. осіб відповідно.

2.2. Вхідні дані моделі MONERIS. Вхідні дані моделі MONERIS складаються з основних та періодичних даних. Набір показників основної інформації містить відомості про аналітичні одиниці, гідрогеологічні умови, ґрунтовий покрив, землекористування, клімат, рельєф і т. д.

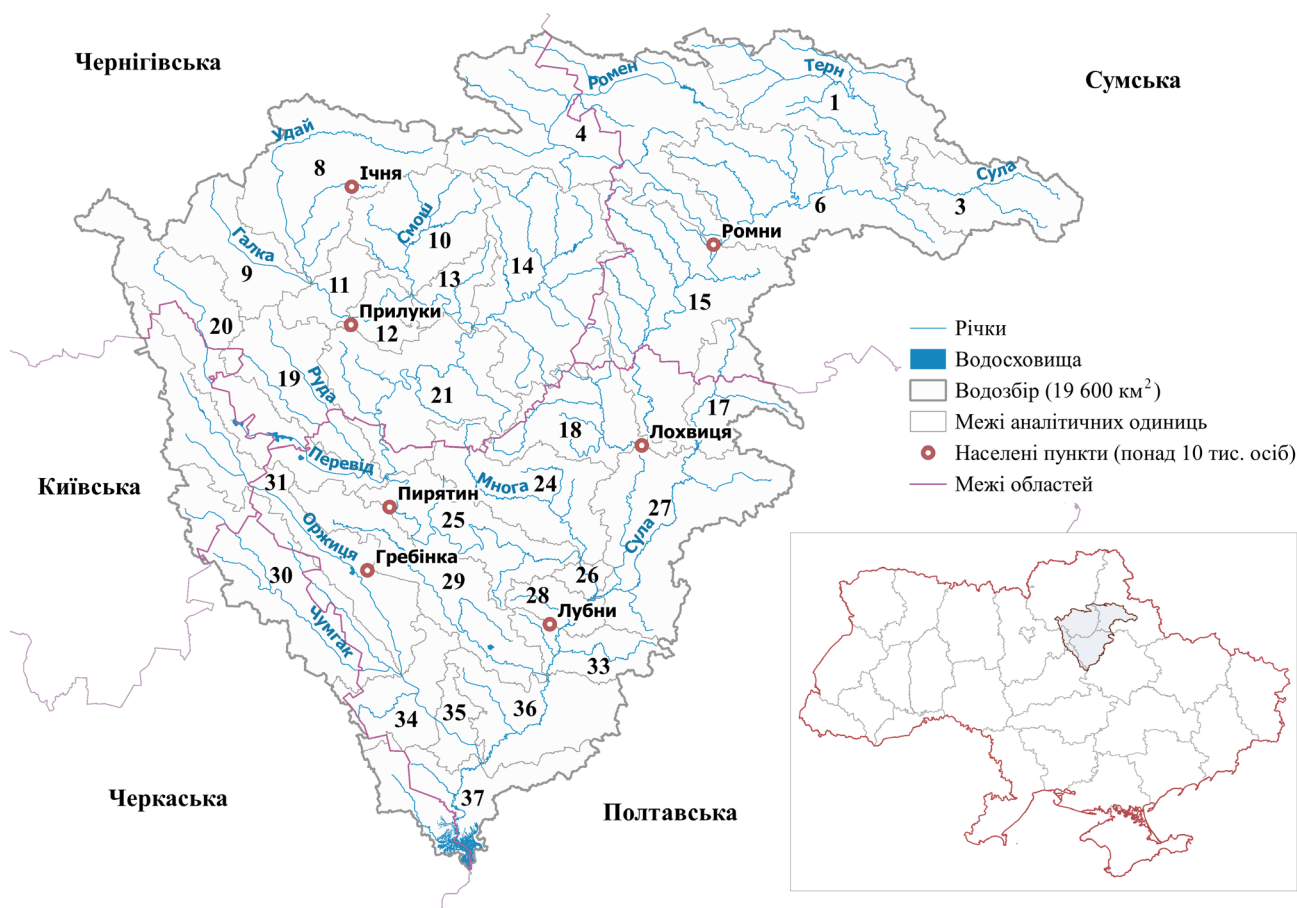


Рис. 1. Географічне положення басейну р. Сула. Назви аналітичних одиниць басейну р. Сула: 1 – Терн; 3 – Сула-витік; 4 – Ромен; 6 – Сула-Недригайлів; 8 – Удай-витік; 9 – Галка; 10 – Смош; 11 – Удай-Заїзд; 12 – Удай-Прилуки; 13 – Удай-Утка; 14 – Лисогір; 15 – Сула-Ромни; 17 – Артополот; 18 – Лохвиця; 19 – Руда; 20 – Перевід; 21 – Удай-Варва; 24 – Многа; 25 – Удай-Пирятин; 26 – Удай-гірло; 27 – Сула-Сулиця; 28 – Сула-Лубни; 29 – Сліпорід; 30 – Чумгак; 31 – Верхня Оржиця; 33 – Сула-Засулля; 34 – Середня Оржиця; 35 – Нижня Оржиця; 36 – Сула-Іржавець; 37 – Сула-гірло.

Fig. 1. Geographical location of the Sula River basin. Names of analytical units of the Sula river basin: 1 – Tern; 3 – Sula-vyitik; 4 – Romen; 6 – Sula-Nedryhailiv; 8 – Udai-vyitik; 9 – Halka; 10 – Smosh; 11 – Udai-Zaizd; 12 – Udai-Pryluky; 13 – Udai-Utka; 14 – Lysohir; 15 – Sula-Romny; 17 – Artopolot; 18 – Lohvytsia; 19 – Ruda; 20 – Perevid; 21 – Udai-Varva; 24 – Mnoha; 25 – Udai-Pyriatyn; 26 – Udai-hyrlo; 27 – Sula-Sulytsia; 28 – Sula-Lubny; 29 – Sliporid; 30 – Chumhak; 31 – Verkhnia Orzhysia; 33 – Sula-Zasullia; 34 – Serednia Orzhysia; 35 – Nyzhnia Orzhysia; 36 – Sula-Irzhavets; 37 – Sula-hyrlo.

У таблиці 1 вказуються середні довгострокові значення кожного параметра в межах періоду розрахунків.

Для налаштування моделі використано різні джерела даних, зокрема дистанційні та локальні. Дистанційні дані охопили інформацію, зібрану за межами України. Локальні дані представляють інформацію, доступну безпосередньо в Україні, таку як карти ґрунтів, дані про клімат, гідрогеологічні умови тощо. При наявності декількох джерел даних віддавалася перевага тому з них, що містило найбільш достовірну інформацію.

Періодичні дані пов'язані з аналітичними одиницями та включають у себе часові ряди таких параметрів як: атмосферне осадження оксидів азоту (NO_x), аміачного азоту (NH_y), загального фосфору (TP), річна кількість опадів та їхнє значення у теплий період, витрати і температура води, сумарна сонячна радіація, кількість мешканців та ступінь їхнього підключення до каналізаційної мережі й очисних споруд, надлишок нітрогену у ґрунті, накопичення фосфору, C-фактор та екскреція фосфору від населення.

2.3. Вибір періоду моделювання. Моделювання навантаження біогенними елементами виконане для

середнього за водністю, маловодного та багатоводного років. Маловодний та багатоводний роки визначено на основі методу емпіричної кривої забезпеченості водного стоку за річними даними відповідно до методу Г. Алексєєва (Shakirzanova & Burlutska, 2016). Криву забезпеченості побудовано для даних за період 1936-2020 рр., а маловодний та багатоводний роки визначено для періоду 1991-2020 рр. (Рис. 2).

Значення витрат води р. Сула 50 % забезпеченості складає 27,2 м³/с. Витрати маловодного періоду 75 % забезпеченості становили 16,5 м³/с, а багатоводного – 25 % забезпеченості (34,5 м³/с). За період 1991-2020 рр. маловодним був 2020-ий рік із середніми за рік витратами води 5,6 м³/с, а багатоводним – 1998 рік, коли середні витрати сягнули 41,8 м³/с.

Поширеним методом оцінки циклічності водного стоку є метод побудови різницевої інтегральної кривої (Lukianets, 2010). Крива накопичення стоку р. Сула відображає наявність повного циклу водності за період 1978-2017 роки (Рис. 3). Багатоводна фаза циклу фіксувалася протягом 1998-2008 років, а маловодна фаза розпочалася з 2017 року. Норма стоку за повний цикл стоку

(1978–2017 рр.) склала 27,4 м³/с, що практично відповідає значенню витрат 50 % забезпеченості (27,2 м³/с). Це свідчить про валідність обраного для моделювання середнього багаторічного значення. Більше того, обрані для моделювання 1998 та 2020 роки припадають на багатоводну та маловодну фази водного стоку, відповідно.

2.4. Калібрування моделі MONERIS. Використання моделі MONERIS не включає процес калібрування, оскільки початкові параметри моделі MONERIS калібруються на основі спостережень на етапі розробки моделі (Behrendt & Oritz, 1999; Venohr et al., 2011). З іншого боку, модель MONERIS передбачає калібрування

стоку. Оскільки значення річкового стоку у водозбірних басейнах реєструються тільки на гідрологічних постах, виникає необхідність у калібруванні стоку для оцінки витрати води в кожній аналітичній одиниці на основі водних балансів і спостережуваних значень. У межах водозбірного басейну Сули відсутні такі об'єми забору чи скиду поверхневих вод, які б суттєво впливали на водний баланс окремих аналітичних одиниць, тому поправочний коефіцієнт розраховано передусім на основі гідрологічного зв'язку між аналітичними одиницями.

Результати калібрування моделі представлені шляхом графічного порівняння змодельованої та виміряної на

Таблиця 1. Вхідні дані для налаштування моделі MONERIS.

Table 1. Input data for setting up of the MONERIS model.

Структура вхідних даних	Джерело	Параметри	Часовий зріз даних
Аналітичні одиниці	EMEP MSC-W (0.1° • 0.1°)	Атмосферні осадження NO _x та NH _y	2020, 1998
	ЦМВ SRTM (30 м)	Середні висоти	-
	ЦМВ SRTM (90 м)	Середній похил водозбору на 100 м	-
	ГТОРО30 (1 км)	Середній похил водозбору на 1000 м	-
Гідрологічні пости	Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО)	Назва гідрологічного посту та площа, яку покриває пост	-
Гідрологія	Опади на основі гомогенізованих рядів спостережень та з урахуванням аеродинамічної поправки	Кількість опадів (літо, рік)	1991-2020
	Агро-гідрологічна модель річкових басейнів України, Land & Water	Евапотранспірація	2000-2019
Гідрогеологія	Національний атлас України, карта «підземні води»	Консолідовані та неконсолідовані породи	-
Ґрунти	База даних «Властивості ґрунтів України»	Ґранулометричний склад ґрунтів	-
	Методика розрахунку балансу біогенних елементів ґрунту	Накопичення фосфору	-
	FAO Digital Soil Map of the World (DSMW)	Вміст азоту	-
Втрата ґрунту	Global Soil Erosion Modelling (GloSEM) (100 м)	Втрата ґрунту на орних землях залежно від похилу території	2019
	Global Soil Erosion (25 км)	Втрата ґрунту на пасовищах та лісах	2012
Землекористування	Esri Land Use/Land Cover (LULC) (10 м)	Площі та типи землекористування	2020
	Методика розрахунку балансу біогенних елементів ґрунту	Надлишок азоту	2020
Поверхневі води	OpenStreetMap (OSM)	Середня довжина водотоків та площа водної поверхні	-
Очисні споруди та промислові об'єкти	Портал електронних послуг Державного агентства водних ресурсів України	Внесок біогенних елементів від комунальних очисних споруд та промислових підприємств	2020
Періодичні дані	Атлас адміністративно-територіального устрою України	Чисельність населення	2001, 2018-2020
	ERA5-Land	Сонячна радіація	1991-2020
	Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО)	Температура води	1991-2016
	The International Benchmarking Network (IBNET)	Ступінь підключення населення до очисних споруд та каналізаційних систем	-
	Агро-гідрологічна модель річкових басейнів України, Land & Water	Витрата води	1991-2020
	-	С-фактор	-
	Оцінка навантаження поверхневих водних об'єктів біогенними елементами	Коефіцієнти емісії забруднюючих речовин на одну особу	-

гідрологічних постах витрати води (Рис. 4). Значення відкаліброваних витрат води показали високий зв'язок зі спостережуваними даними, що відображає валідність калібрування.

3. Результати та їх обговорення

3.1. Шляхи надходження біогенних елементів.

3.1.1. Надходження біогенних елементів шляхом атмосферного осадження. Надходження нітрогену та фосфору до водної поверхні шляхом атмосферного осадження для басейну Сули складає 25,8 т/рік (14,2 г/га) нітрогену та 0,2 т/рік (0,1 г/га) фосфору. Емісія нітрогену суттєво різниться залежно від водності Сули. Так, у маловодний рік надходження вона складає 20,3 т/рік, а в багатоводний рік – 31,4 т/рік. Надходження фосфору на водну поверхню шляхом атмосферного осадження не змінюється залежно від водності річки, що пов'язано передусім з дуже низькою концентрацією фосфору в атмосферних опадах на території України, підтвержене експериментальними дослідженнями (Solomatina et al., 2019).

Емісія нітрогену та фосфору шляхом атмосферного осадження варіює в межах аналітичних одиниць від 0,06 до 4,38 т/рік нітрогену та від 0,001 до 0,04 т/рік

фосфору. Найбільші значення емісії нітрогену та фосфору виявлено в аналітичних одиницях з максимальною площею водного дзеркала, розташованих уздовж річки Сула (Рис. 5), а також із найбільшою середньорічною кількістю опадів. Найменші значення емісії нітрогену та фосфору змодельовано для нижньої частини басейну р. Оржиця (Рис. 5), де простежується невелика площа водойм та знижена кількість опадів. Залежність між загальною площею аналітичних одиниць та надходженням нітрогену й фосфору через атмосферне осадження не простежується, що виражено у близьких до 0 значеннях коефіцієнту кореляції Пірсона: $r = 0,10$ для нітрогену та $r = 0,11$ для фосфору.

3.1.2. Надходження біогенних елементів шляхом поверхневого стоку. Надходження сполук біогенних елементів з поверхневим стоком складає для басейну Сули 258,0 т/рік (141,7 г/га) нітрогену та 9,0 т/рік (5,0 г/га) фосфору. Залежно від водності Сули та її приток, надходження біогенних елементів змінюється дуже сильно. Зокрема, емісія нітрогену та фосфору в маловодний рік складає 90,5 т/рік та 3,5 т/рік відповідно, тоді як у багатоводний рік надходження складає 546,4 т/рік нітрогену та 18,6 т/рік фосфору.

Максимальні значення емісії нітрогену та фосфору спостерігаються в нижній течії Удаю, сусідньому до неї суббасейні Сули та в басейні правої притоки Удаю –

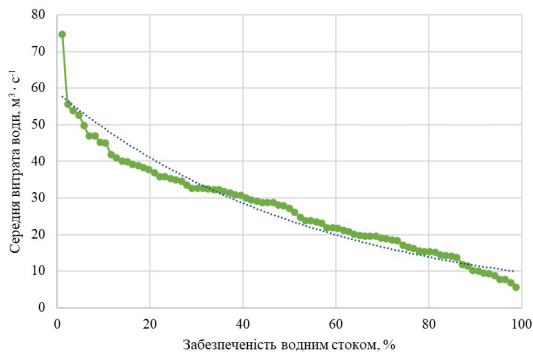


Рис. 2. Крива забезпеченості водним стоком за річними даними для гідрологічного поста р. Сула, м. Лубни.

Fig. 2. Flow duration curve for the Sula River near Lubny gauging station.

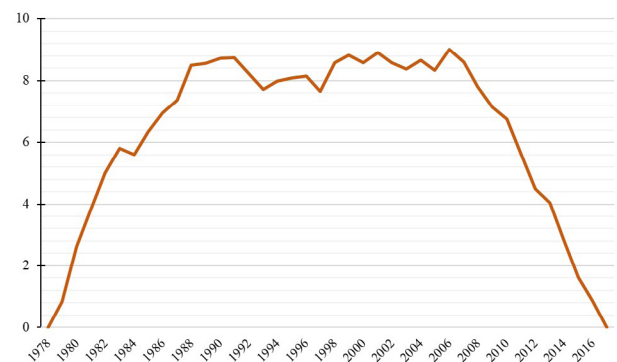


Рис. 3. Різниця інтегральна крива водного стоку р. Сула 1974 – 2020 рр.

Fig. 3. Residual mass curve of the Sula River.

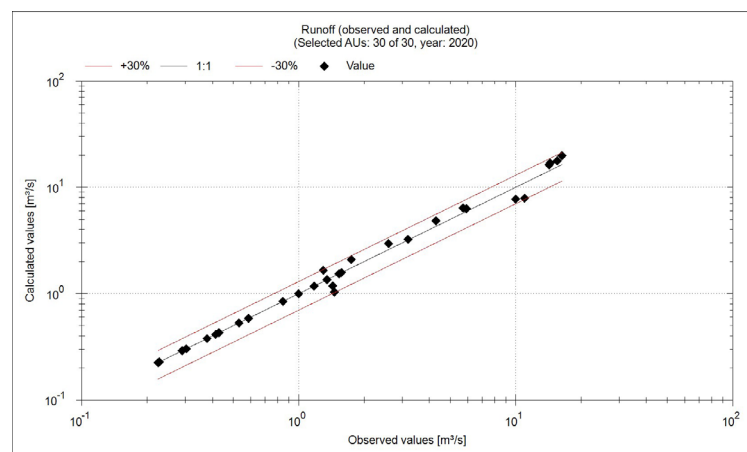


Рис. 4. Залежність між спостережуваними та змодельованими витратами води в аналітичних одиницях після введення поправочного коефіцієнта.

Fig. 4. The ratio between the observed and modelled water flows in analytical units after the correction factor is introduced.

річки Перевід, у межах яких надходження нітрогену досягає 14-20 т/рік, а фосфору – 0,5-0,7 т/рік (Рис. 6). Це пов'язано з тим, що найвищі показники шару стоку в басейні Сули простежуються саме в басейні Удаю (Osypov et al., 2023).

Найменші значення емісії нітрогену та фосфору з поверхневим стоком відзначено в басейнах річок Артополот, Сліпорід, Галка і Чумгак, локалізованих переважно в південно-західній і західній частинах водозбірному басейну Сули, де простежуються низькі значення шару стоку. Надходження нітрогену в цих суббасейнах складає всього 2,6-4,1 т/рік, а фосфору – 0,09-0,14 т/рік.

3.1.3. Надходження біогенних елементів шляхом ерозії. Надходження біогенних елементів шляхом ерозії для басейну Сули становило 22,1 т/рік (12,2 т/га) нітрогену та 11,2 т/рік (6,1 г/га) фосфору. Емісія нітрогену та фосфору в маловодний рік складає 13,9 т/рік та

7,1 т/рік відповідно, тоді як у багатоводний рік надходження досягає 38,1 т/рік нітрогену та 19,4 т/рік фосфору.

Найбільші значення емісії нітрогену шляхом ерозії простежуються в середній течії р. Сула та у водозбірному басейні річки Чумгак (Рис. 7А), у межах яких надходження нітрогену досягає 1,5-2,0 т/рік. У першому випадку високі значення емісії нітрогену передусім пов'язані із великими площами орних земель та високими показниками вертикального розчленування рельєфу в річковій долині Сули, тоді як у водозбірному басейні Чумгаку значна емісія нітрогену вочевидь є наслідком високого ступеня розораності території. Найбільші значення емісії фосфору шляхом ерозії виявлено в тих же аналітичних одиницях (окрім р. Чумгак) та досягають 0,8-1,0 т/рік фосфору (Рис. 7Б). Натомість, високе значення емісії фосфору простежується в басейні річки Ромен. Найменше надходження біогенних елементів

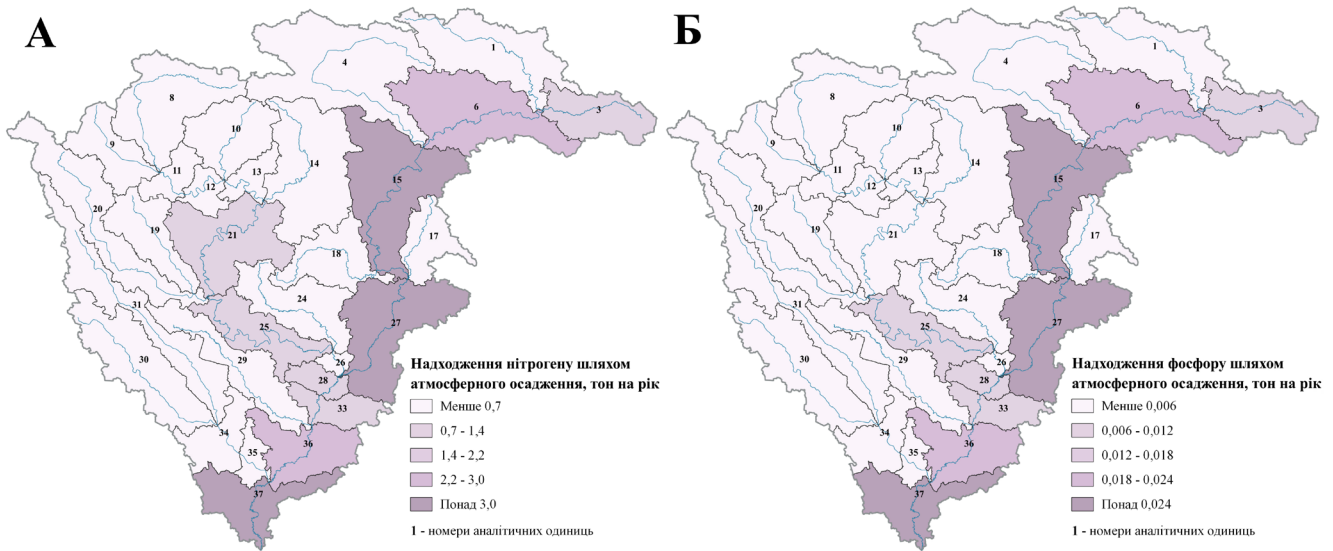


Рис. 5. Надходження біогенних елементів шляхом атмосферного осадження: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 5. Input of nutrients through atmospheric deposition: A – nitrogen; B – phosphorus.

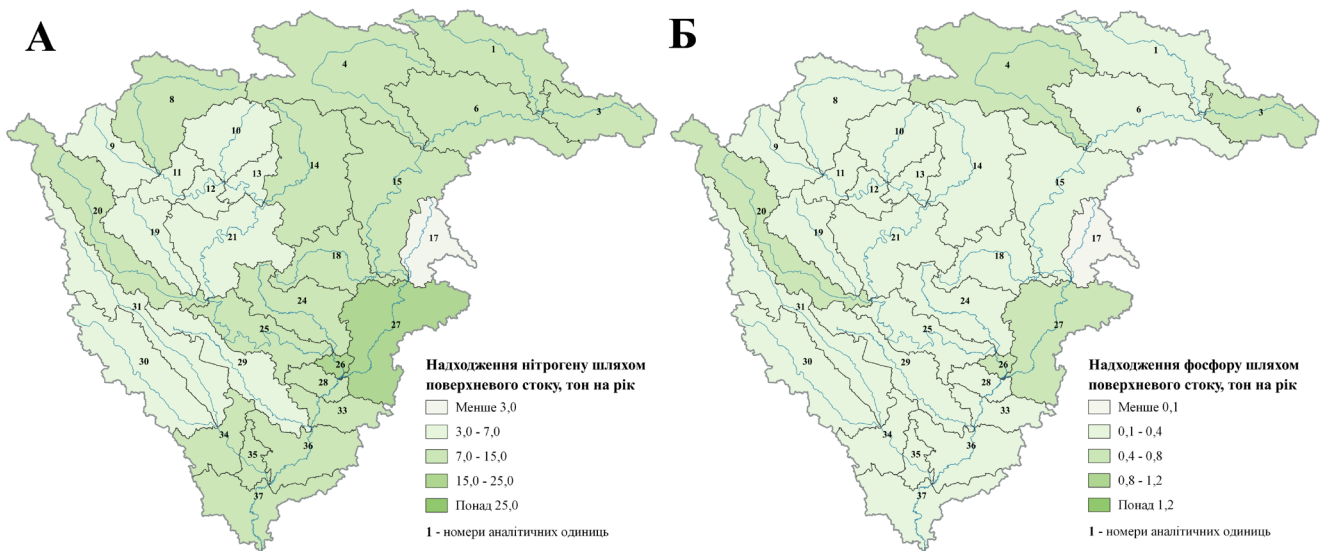


Рис. 6. Надходження біогенних елементів шляхом поверхневого стоку: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 6. Input of nutrients through runoff: A – nitrogen; B – phosphorus.

шляхом ерозії зафіксовано в аналітичних одиницях з мінімальною площею і, відповідно, з найменшою площею орних земель.

3.1.4. Надходження біогенних елементів шляхом підземних вод. Разом із підземними водами надходить основна частина нітрогену та фосфору, емісія яких для басейну Сули складає 1041,1 т/рік (571,8 т/га) нітрогену та 77,0 т/рік (42,2 т/га) фосфору. Вилуговування нітрогену та фосфору в маловодний рік складає 533,1 т/рік та 38,0 т/рік відповідно, тоді як у багатоводний рік ці показники зростають до 1746,5 т/рік нітрогену та 130,1 т/рік фосфору.

На відміну від решти шляхів надходження біогенних елементів, аналітичні одиниці з максимальними значеннями емісії нітрогену та фосфору різняться. Так, найбільше надходження нітрогену простежується у верхній частині басейну Сули, досягаючи 73-94 т/рік нітрогену (Рис. 8А). Саме тут зростає роль консолідованих

гірських порід (до 43-47 % площі аналітичних одиниць), що веде до незначного утримання сполук нітрогену в породах. Найбільше значення емісії фосфору через підземні води зафіксовано у віддалених аналітичних одиницях північної (Ромен), західної (Перевід) та східної (Сула-Сулиця) частин водозбірного басейну р. Сула, у межах яких надходження фосфору досягає 4,6-5,6 т/рік (Рис. 8Б).

Найменші значення емісії нітрогену простежуються у водозбірних басейнах Чортополоку, Чомгаку і Лисогіра (3,1-5,1 т/рік), що, вірогідно, пов'язано зі значним винесенням сполук нітрогену через ерозію. Найменше надходження фосфору виявлено у водозбірних басейнах Удай-Утка, Нижня Оржиця і Артополок (0,8-1,0 т/рік). Вважаємо, що це стало наслідком відносно невеликої площі сільськогосподарських земель та малої кількості населення, причому невідключеного до каналізаційних систем.

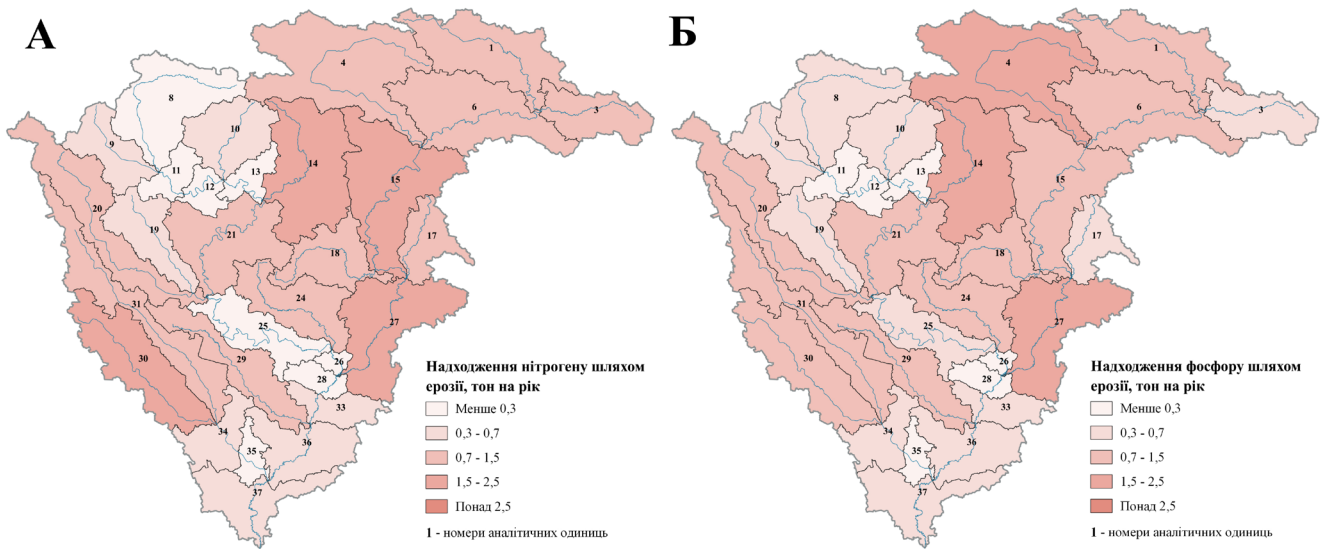


Рис. 7. Надходження біогенних елементів шляхом ерозії: А – нітрогену; Б – фосфору.
Fig. 7. Input of nutrients through erosion: A – nitrogen; B – phosphorus.

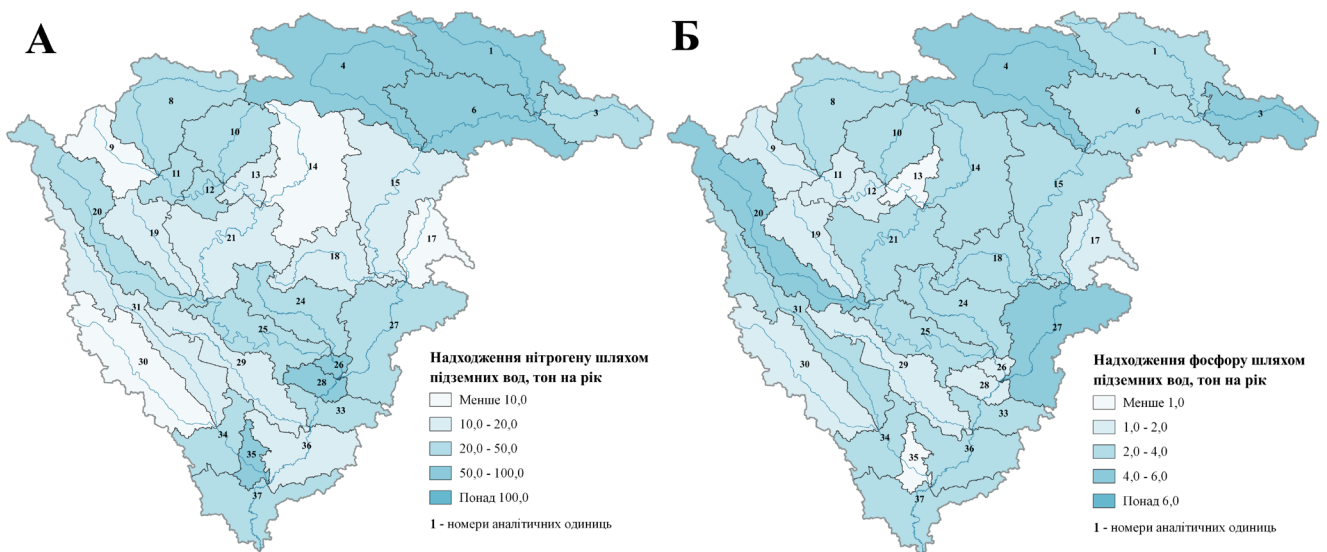


Рис. 8. Надходження біогенних елементів шляхом підземних вод: А – нітрогену; Б – фосфору.
Fig. 8. Input of nutrients through groundwater: A – nitrogen; B – phosphorus.

3.1.5. Надходження біогенних елементів від урбанізованих територій. Надходження біогенних елементів від міських територій у басейні Сули складає 300,5 т/рік (167,8 г/га) нітрогену та 42,7 т/рік (23,5 г/га) фосфору. Емісія нітрогену та фосфору в маловодний рік складає 270,2 т/рік та 40,8 т/рік відповідно, тоді як у багатоводний рік ці показники зростають до 354,4 т/рік для нітрогену та 46,9 т/рік для фосфору.

У третині аналітичних одиниць відсутнє надходження нітрогену від міських територій переважно в південній та південно-західній частині водозбірного басейну Сули (Рис. 9А). Це обумовлено відсутністю в цій частині басейну міського населення з організованими каналізаційними мережами. Найбільші значення емісії нітрогену від міських територій мають місце в аналітичних одиницях Верхня Оржиця, Сула-Недригайлів та Сула-Сулиця (Рис. 9А), де надходження нітрогену досягає 31,1-46,8 т/рік.

На відміну від нітрогену, емісія фосфору є у всіх аналітичних одиницях. Найбільше надходження фосфору

виявлено в наступних аналітичних одиницях (Рис. 9Б): Сула-Ромни, Верхня Оржиця, Сула-Недригайлів та Ромен. Значення емісії фосфору в зазначених суббасейнах досягають 2,8-4,3 т/рік. Найменше надходження фосфору простежується в невеликих аналітичних одиницях, у яких відсутні міські населені пункти – Удай-гірло, Удай-Утка, Руда (Рис. 9Б). Емісія фосфору в цих аналітичних одиницях складає лише 0,05-0,34 т/рік.

3.1.6. Надходження біогенних елементів від точкових джерел. Надходження біогенних елементів від точкових джерел у басейні р. Сула складає 162,3 т/рік (89,1 г/га) нітрогену та 56,1 т/рік (30,8 г/га) фосфору. Точкові джерела вважаються квазістаціонарними і від водності не залежать.

Надходження біогенних елементів від точкових джерел має місце тільки в семи аналітичних одиницях, зокрема Удай-Прилуки, Сула-Засулля, Сула-Ромни, Удай-Пирятин, Удай-витік, Удай-Варва, Сула-Недригайлів (Рис. 10). З них найбільше навантаження простежується в аналітичних

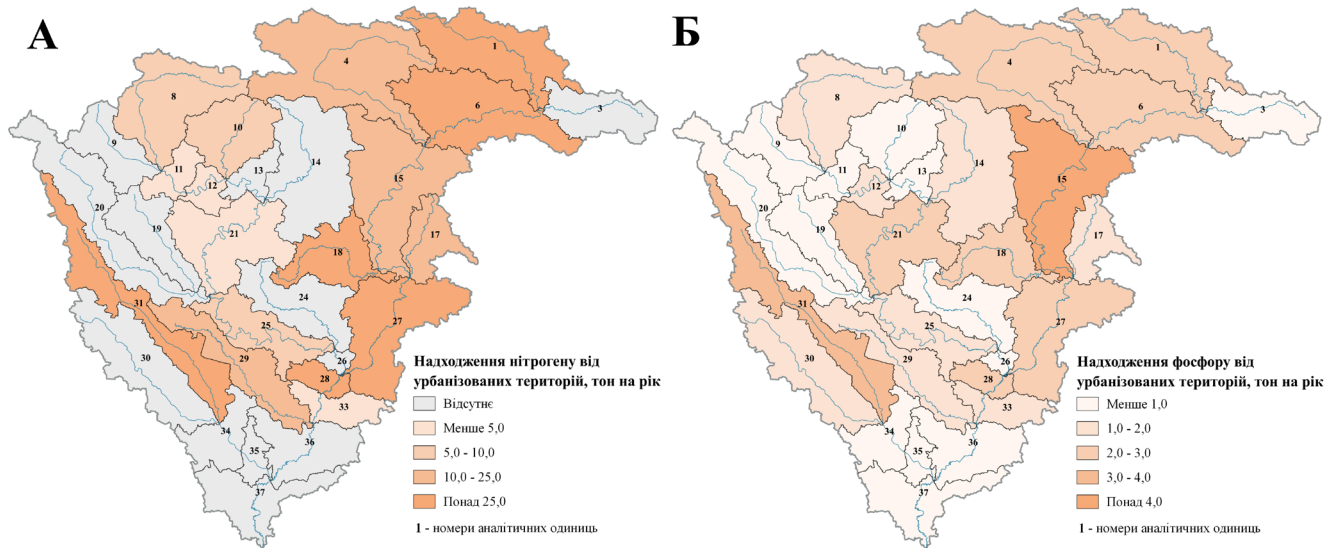


Рис. 9. Надходження біогенних елементів від урбанізованих територій: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 9. Input of nutrients through urban areas: А – nitrogen; Б – phosphorus.

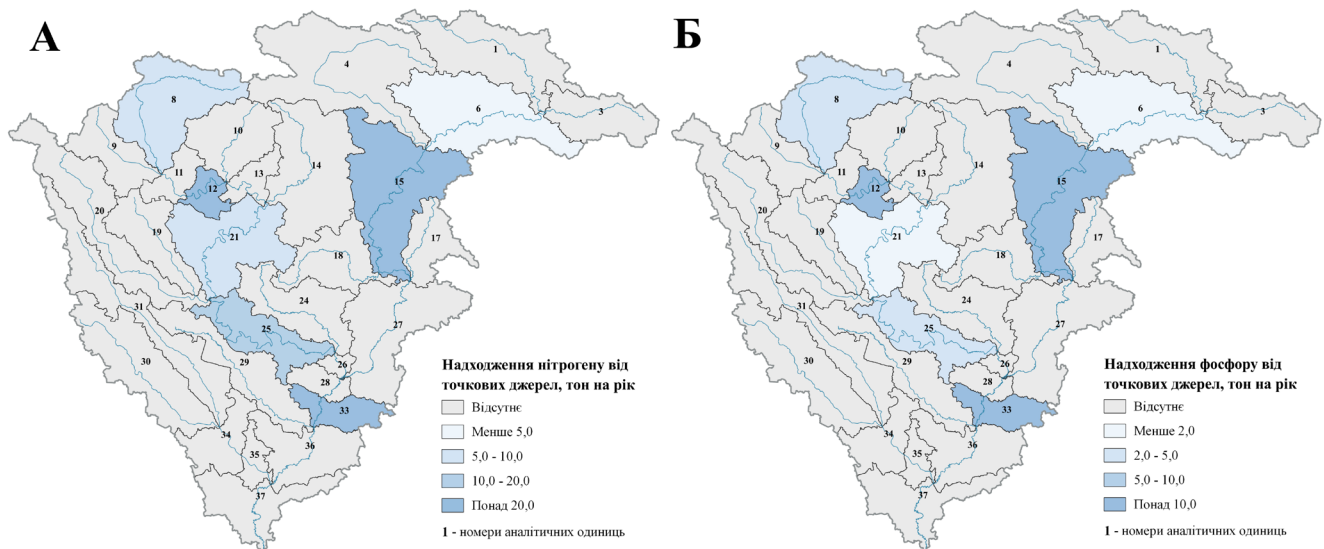


Рис. 10. Надходження біогенних елементів від точкових джерел: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 10. Input of nutrients from point sources: А – nitrogen; Б – phosphorus.

одиницях Удай-Прилуки (49,2 т/рік нітрогену та 17,0 т/рік фосфору), Сула-Засулля (44,1 т/рік нітрогену та 15,2 т/рік фосфору) і Сула-Ромни (35,9 т/рік нітрогену та 12,4 т/рік фосфору).

3.2. Джерела надходження біогенних елементів.

До джерел надходження біогенних елементів відносять сільське господарство, природний фон, міські джерела та інші джерела (Venohr et al., 2009). Головним джерелом емісії нітрогену у водозбірному басейні Сули є сільське господарство (55 % емісії), тоді як фосфор в основному надходить від міських територій (50 % емісії фосфору) (Рис. 11).

Щорічно від сільського господарства надходить 1001,8 т нітрогену та 56,6 т фосфору. Ця складова значною мірою визначається величиною водного стоку. Так, у маловодний рік 500,8 т нітрогену та 25,3 т фосфору, у багатоводний рік – 1702,8 т нітрогену та 102,8 т фосфору. Вплив сільського господарства передусім визначається застосуванням агрохімічних засобів – сумарно 577,5 т біогенних елементів.

Від міських джерел надходить найбільша частка фосфору (50 % або 98,8 т фосфору) та значна частка нітрогену (25 % або 446,1 т нітрогену) (Рис. 11). Залежно від водності Сули та її приток емісія біогенних елементів змінюється від 420,0 т нітрогену та 96,9 т фосфору в маловодний рік до 494,6 т нітрогену та 102,9 т фосфору в багатоводний рік.

Емісію від природного фону розглядають як таку, що не залежить від діяльності людини. Природний фон складає незначну частку від загальної емісії біогенних

елементів – 10 % для нітрогену (179,0 т) та 16 % для фосфору (30,8 т). Це свідчить про те, що близько 90 % всього надходження біогенних елементів у басейні Сули пов'язано з антропогенною діяльністю людини.

Від інших джерел надходить 10 % нітрогену та 5 % фосфору, що в абсолютному вимірі складає 182,9 т/рік нітрогену та 10,0 т/рік фосфору. Залежно від водності Сули та її приток емісія змінюється від 96,9 т/рік нітрогену та 5,1 т/рік фосфору в маловодний рік до 316,1 т/рік нітрогену та 17,4 т/рік фосфору в багатоводний рік.

3.3. Загальне навантаження біогенними елементами.

Загальна емісія нітрогену у водозбірному басейні Сули складає 1809,8 т/рік або 994 г/га за рік. Залежно від водності Сули та її приток надходження нітрогену збільшується більш, ніж у два рази: у маловодний рік емісія нітрогену становить 1090,3 т/рік (599 г/га), а у багатоводний рік – 2 879,1 т/рік (1581 г/га).

Важливо підкреслити роль дифузних джерел, частка яких складає 91,1 % усього надходження нітрогену. Серед них домінує роль підземних вод (57,5 % або 1041,1 т/рік) (Рис. 12). Це передусім пов'язано з внеском латерального стоку та неглибоких підземних вод, куди легко проникають фільтраційні води.

Найбільші значення емісії нітрогену (понад 100 т/рік) властиві для великих аналітичних одиниць у верхній або середній течії Сули, де об'єми розвантаження підземних вод, очевидно, є найбільшими (Терн, Ромен, Сула-Недригайлів, Сула-Сулиця) (Рис. 14А). У більшості з цих аналітичних одиниць нітроген надходить переважно з підземними водами. Найменші значення емісії нітрогену

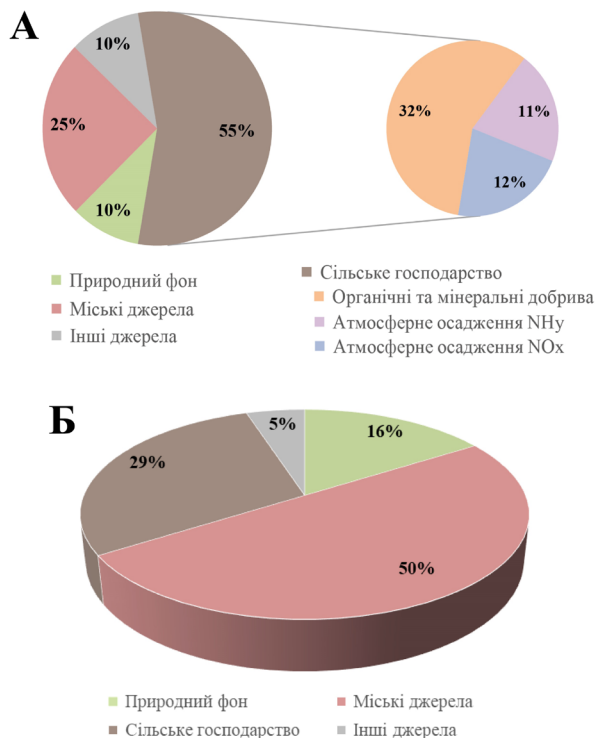


Рис. 11. Внесок різних джерел у загальну емісію біогенних елементів: А – нітрогену; Б – фосфору.

Fig. 11. Contribution of different sources to total nutrient emissions: A – nitrogen; B – phosphorus.

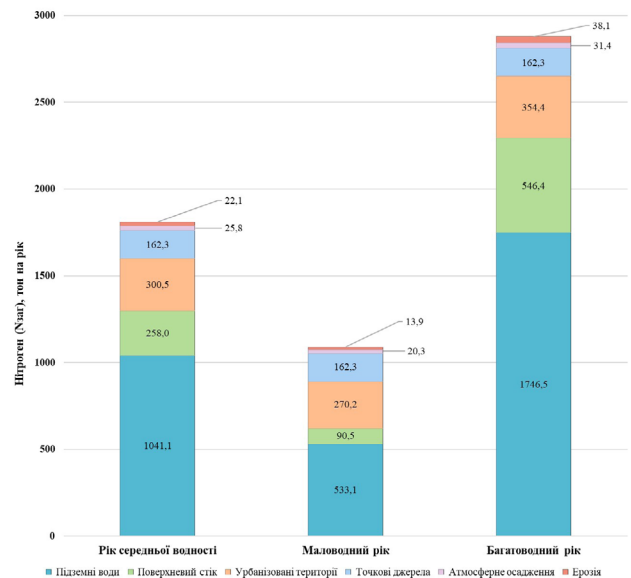


Рис. 12. Загальна емісія нітрогену у водозбірному басейні Сули.

Fig. 12. Total nitrogen emissions in the Sula River basin.

(менше 20 т/рік) виявлено у водозбірних басейнах приток Удаю – Чумгак, Галка, Лисогір, Руда. У межах них також домінує емісія нітрогену з підземними водами, проте тут поширені неконсолідовані гірські породи. Поблизу міст (аналітичні одиниці Артополот, Лохвиця, Верхня Оржиця) найбільше нітрогену надходить з урбанізованих територій (Рис. 15А).

Загальна емісія фосфору у досліджуваному басейні складає 196,2 т/рік або 107 г/га за рік. У маловодний та багатоводний роки емісія фосфору суттєво змінюється від 145,7 т/рік (80,0 г/га за рік) у маловодний рік до 271,3 т/рік (149,0 г/га за рік) у багатоводний рік (Рис. 13).

Дифузні джерела складають 71,4 % усього надходження фосфору у водозбірний басейн Сули, серед них основну роль відіграють підземні води (39,2 % або 76,9 т/рік). Помітний внесок і урбанізованих територій – 21,8 % або 42,7 т/рік. Порівняно з нітрогеном, роль поверхневого стоку у транспортуванні фосфору значно знижується (до 4,6 %), натомість зростає частка ерозії до 5,7 %.

Найбільші значення емісії фосфору (понад 20 т/рік) зафіксовано в аналітичних одиницях, у межах яких знаходяться найбільші міста водозбірного басейну – Удай-Прилуки, Сула-Ромни і Сула-Засулля (Рис. 14Б). Саме в цих аналітичних одиницях точкові джерела є головним шляхом надходження фосфору. Найменші значення емісії фосфору (менше 3 т/рік) виявлені в невеликих водозбірних басейнах дрібних приток Сули, у межах яких відсутні міські населені пункти – аналітичні одиниці Галка, Удай-Утка, Артополот і Нижня Оржиця.

У більшості аналітичних одиниць головним шляхом емісії фосфору є підземні води, окрім згаданих вище суббасейнів, у яких простежуються найвищі значення емісії фосфору. У кількох аналітичних одиницях головним шляхом емісії фосфору є урбанізовані території (Верхня Оржиця, Артополот, Чумгак) (Рис. 15Б).

Отже, загальна емісія нітрогену в басейні Сули у 9,2 рази вища від емісії фосфору, що узгоджується з

результатами моделювання інших річкових басейнів. Зокрема, у басейні Дунаю емісія нітрогену в 20,3 рази вища, ніж фосфору (Gericke & Venohr, 2021), у басейні Тиси в межах України емісія нітрогену також в 20,3 рази вища від фосфору (Fischer et al., 2018), у басейні Західного Бугу (у межах Львівської області) – у 18,6 разів, у басейні Одри – в 9,6 разів (Pastuszek et al., 2018) тощо.

Показник емісії нітрогену в басейні Сули менший порівняно з басейнами річок Європи. Зокрема, емісія нітрогену в басейні Дунаю складає 8,6 кг/га (Schreiber et al., 2005) та 3,9 кг/га (Gericke & Venohr, 2021), що майже у 9 та 4 рази відповідно більше, ніж у басейні Сули. У деяких річках Словаччини (Теплиця, Ставниця і Бистриця) емісія нітрогену оцінюється від 5,0 до 7,7 кг/га (Siman & Veliskova, 2020), для басейну Тиси в межах України – 8,6 кг/га (Fischer et al., 2018). Проте для басейну Західного Бугу в межах Львівської області змодельовано значно вищі значення емісії нітрогену – 18,5 кг/га (Terekhanova, 2009), що може бути пов'язано з розташуванням у межах басейну м. Львів.

Показник емісії фосфору в басейні Сули також менший, ніж в інших вивчених басейнах Європи. Так, емісія фосфору в басейні Дунаю складає 710 г/га за рік (Schreiber et al., 2005), а за оновленими даними – 380 г/га (Gericke & Venohr, 2021). У басейні Тиси в межах України емісія фосфору складає 440 г/га (Fischer et al., 2018), а в басейні Західного Бугу (у межах Львівської області) – 992 г/га (Terekhanova, 2009).

Навантаження біогенними елементами басейну Сули складає 1551,3 т/рік (852,0 г/га) нітрогену і 122,2 т/рік (67,1 г/га) фосфору. У маловодний рік загальне навантаження нітрогеном становить 850,2 т/рік (466,9 г/га), фосфору – 87,1 т/рік (47,8 г/га); у багатоводний рік – 2607,3 т/рік (1432,0 г/га) нітрогену та 179,4 т/рік (98,5 г/га) фосфору.

Нижчі показники навантаження водозбірного басейну Сули біогенними елементами, вірогідно, обумовлено кількома факторами:

- Низькою щільністю населення (26,7 осіб/км²);
- Низьким рівнем урбанізації (47,5 %) та відповідно невеликою кількістю комунальних підприємств;
- Невеликою кількістю точкових джерел забруднення у зв'язку з низьким ступенем індустріалізації водозбірного басейну.

З іншого боку, високий ступінь сільськогосподарського освоєння території басейну веде до того, що головним джерелом нітрогену є сільське господарство.

3.4. Оцінка ефективності моделювання. Ефективність моделювання навантаження біогенними елементами оцінюють на основі порівняння результатів моделювання зі спостережуваними даними. Для цього найчастіше використовують графічні методи порівняння і статистичні коефіцієнти.

Стандартну валідацію моделі для водозбірного басейну Сули виконати неможливо у зв'язку з недостатньою кількістю спостережень. У басейні Сули хімічний стік розчинених форм нітрогену та фосфору вимірюється тільки на трьох гідрологічних постах – Ромни (річка Ромен), Прилуки (річка Удай) та Лубни (річка Сула)

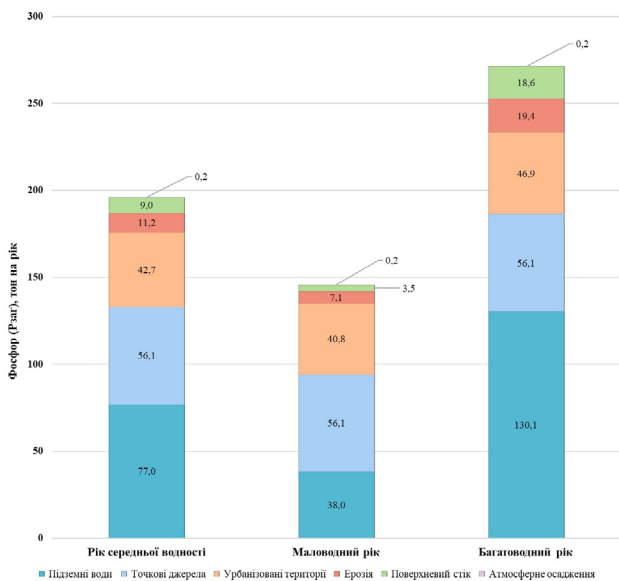


Рис. 13. Загальна емісія фосфору у водозбірному басейні Сули.
Fig. 13. Total phosphorous emissions in the Sula catchment area.

(Табл. 2). Більше того, у дослідженнях з оцінки навантаження біогенними елементами гідрологічні пости з кількістю відібраних проб за рік менше 22 разів не розглядаються у зв'язку з часовою мінливістю концентрацій фосфору та нітрогену (Gericke & Venohr, 2021), тоді як у басейні Сули відсутні гідрологічні пости, на яких кількість відібраних проб перевищує семи за рік (Табл. 2). Навіть щомісячні дані по хімічному стоку біогенних елементів на гідрологічних постах дають високі похибки (Gericke & Venohr, 2021).

Крім того, невизначеність у порівнянні спостережуваних та змодельованих даних полягає також у розрахунку різних форм біогенних елементів. На гідрологічних постах вимірюються розчинені неорганічні форми сполук нітрогену (<http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/>), тоді як модель MONERIS розраховує загальний стік сполук нітрогену. Саме тому в таблиці 2 змодельовані значення сполук нітрогену помітно більші від спостережуваних

(у 1,2-6,9 разів). З іншого боку, модельовані значення стоку фосфору на гідрологічних постах Ромни та Лубни нижчі від спостережуваних, що, вірогідно, пов'язано з розташуванням гідрологічних постів практично в межах міста (100-200 м вниз за течією від міст). Це визначає високу ймовірність впливу скидів підприємств на короткочасні піки концентрації фосфору, які через недостатню частотність спостережень формують хибне уявлення про високі середньорічні значення хімічного стоку фосфору.

Стандартне відхилення змодельованих і спостережуваних даних для нітрогену в інших басейнах найчастіше варіює в межах 20-30 % (Behrendt et al., 2000; 2003; Shreiber et al., 2005; Hirt et al., 2008; 2012; Fuchs et al., 2010). Відхилення змодельованих і спостережуваних значень емісії фосфору є більшим і найчастіше складає 27-38 % (Behrendt et al., 2000; 2003; Shreiber et al., 2005; Hirt et al., 2008; 2012; Fuchs et al., 2010). Це пов'язують із

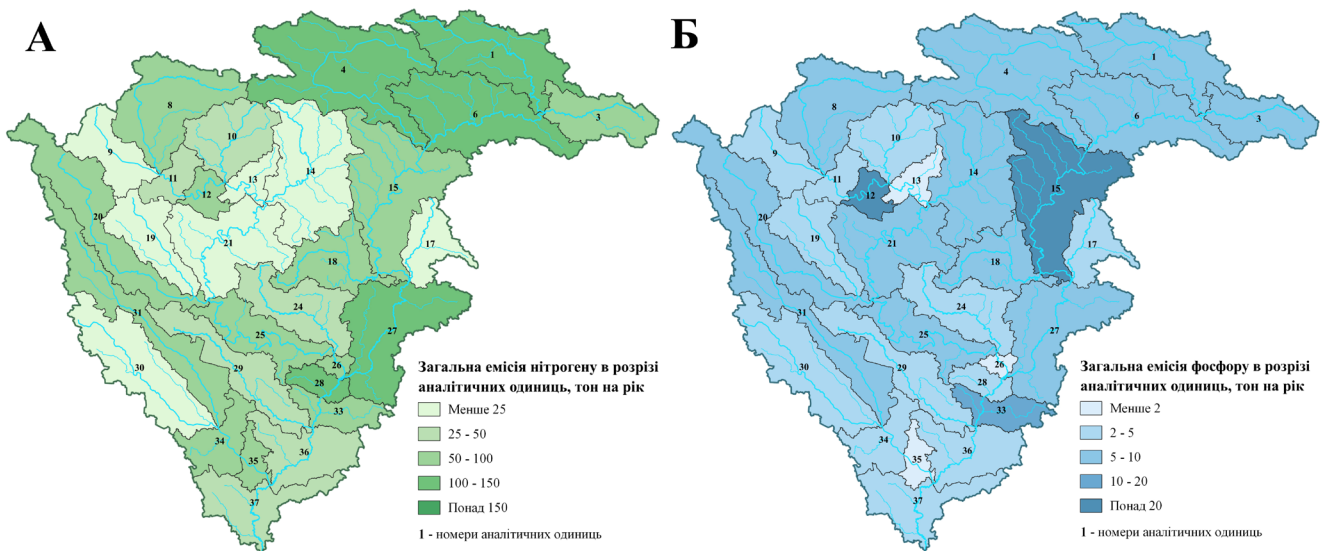


Рис. 14. Загальна емісія біогенних елементів у аналітичних одиницях басейну Сули: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 14. Total emission of nutrients in analytical units of the Sula basin: А – nitrogen; Б – phosphorus.

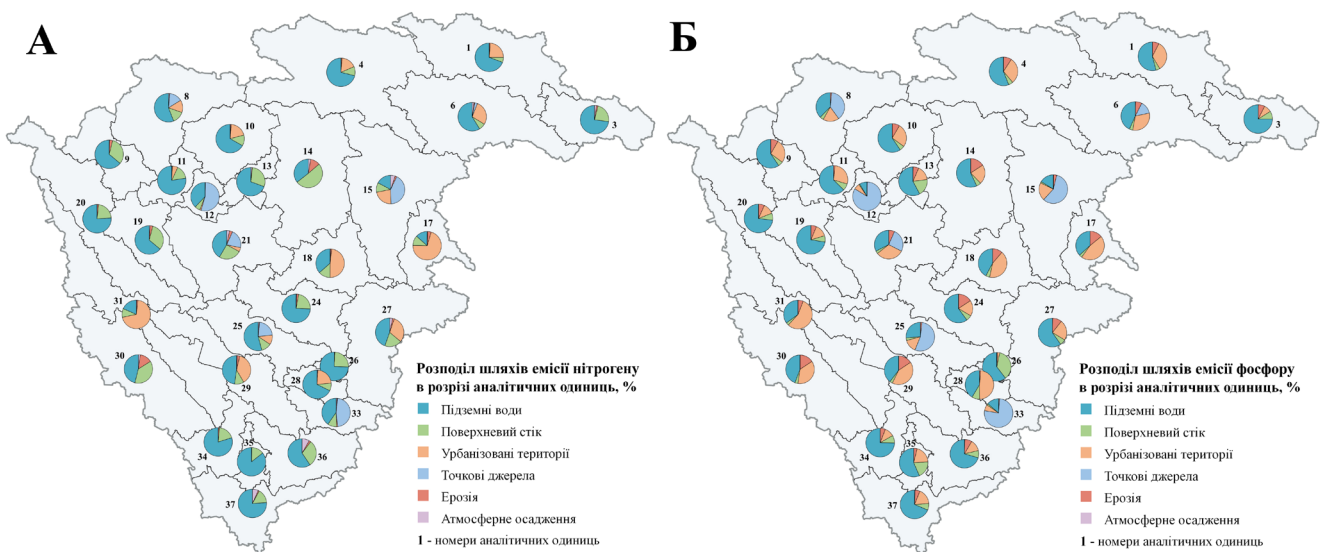


Рис. 15. Розподіл шляхів емісії в розрізі аналітичних одиниць: А – нітрогену; Б – фосфору.
 Fig. 15. Distribution of emission pathways by analytical units: А – nitrogen; Б – phosphorus.

Таблиця 2. Спостережувані та модельовані значення хімічного стоку в басейні Сули.
Table 2. Modelled and observed chemical flow in the Sula River basin.

Річка	Гідрологічний пост	Спостережуване значення, мг/дм ³		Кількість відібраних проб за рік	Змодельоване значення, мг/дм ³	
		Нітроген	Фосфор		Нітроген	Фосфор
Ромен	Ромни	54,16	30,45	6	63,58	19,00
Удай	Прилуки	18,23	15,72	2	125,73	24,56
Сула	Лубни	272,03	128,83	7	759,67	83,66

недосконалістю методик вимірювання загального фосфору в річках (Schreiber et al., 2003) або ж недосконалістю визначення коефіцієнту утримання в річках (Caille et al., 2009). Крім того, більше відхилення змодельованих значень від реальних виявлено для менших за розміром водозбірних басейнів, що пов'язано із більшою динамікою стоку та зростанням концентрацій біогенних елементів у менших водних об'єктах (Fuchs et al., 2010).

Отримані на основі моделі MONERIS значення емісії нітрогену та фосфору є близькими до таких, розрахованих за методом масового балансу (змодельованих для маловодного 2020 року): 1090,3 т/рік проти 921,2 т/рік нітрогену; 145,7 т/рік проти 312,9 т/рік фосфору (Bonchkovskiy & Osurov, 2024). Таким чином, модельована емісія нітрогену засобами MONERIS є дещо вищою порівняно з методом масового балансу, проте емісія фосфору є вдвічі нижчою. З іншого боку, відмінність у розрахунку коефіцієнту отримання в обох моделях веде до того, що значення навантаження біогенними елементами різняться більше. Так, засобами моделі MONERIS розраховано навантаження нітрогеном 850,2 т/рік, а фосфором 87,1 т/рік, тоді як за допомогою методу масового балансу ці значення складають – 272,9 т/рік нітрогену та 135,4 т/рік фосфору.

5. Висновки

1. Загальна емісія нітрогену в басейні Сули складає 1809,8 т/рік, у маловодний рік 1090,3 т/рік, а в багатоводний рік – 2 879,1 т/рік. Загальна емісія фосфору в басейні Сули у 9,2 рази менша від нітрогену і становить 196,2 т/рік, у маловодний рік 145,7 т/рік, а в багатоводний рік – 271,3 т/рік. Емісія нітрогену на одиницю площі в басейні Сули помітно менша, аніж в інших змодельованих водозбірних басейнах, що обумовлено низьким рівнем урбанізації басейну та невеликою кількістю точкових джерел забруднення.

2. Головним шляхом надходження нітрогену в басейні Сули є підземні води (57,5 %), значно менше урбанізовані території (16,6 %) та поверхневий стік (14,3 %). Головними шляхами надходження фосфору в басейні Сули є підземні води (39,2 %) та урбанізовані території (21,8 %). Такий розподіл шляхів надходження біогенних елементів пов'язаний передусім з підземним живленням Сули та її приток.


3. Антропогенні джерела складають 90 % емісії нітрогену та 87 % емісії фосфору у водозбірний басейн Сули. Головним джерелом надходження нітрогену в

басейні Сули є сільське господарство (55 % емісії), тоді як головним джерелом надходження фосфору є міські території (50 % емісії). У зв'язку з цим найбільші значення емісії нітрогену спостерігаються в аналітичних одиницях з найбільшими площами орних земель, а фосфору – в аналітичних одиницях з найвищим рівнем урбанізації.

4. Показники хімічного складу води у басейні Сули вимірюються лише на трьох постах, а частота спостережень не перевищує семи разів на рік. Це унеможливило процес валідації моделі й актуалізує питання застосування різних моделей до оцінки навантаження біогенними елементами. Проте, з впровадженням моніторингу вод відповідно до європейських стандартів, цей недолік буде подолано. З іншого боку, розраховані значення емісії нітрогену та фосфору на основі моделі MONERIS та за методом масового балансу для маловодного року є близькими між собою: 1090,3 т/рік проти 921,2 т/рік нітрогену; 145,7 т/рік проти 312,9 т/рік фосфору, відповідно. Різниця в отриманих значеннях може бути пов'язаною із відмінними підходами до розрахунку коефіцієнту утримання біогенних елементів.

5. Отримані результати моделювання є основою для розроблення програми заходів для досягнення масивами поверхневих вод басейну Сули «доброго» екологічного стану.

ORCID iD

Andrii Bonchkovskiy  <https://orcid.org/0000-0002-3275-6772>

Список посилань

- Arnold, J., Moriasi, D., Gassman, P., Abbaspour, K., White, M., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R., van Griensven, A., Van Liew, M., Kannan, N., Jha, M. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491–1508.
- Behrendt, D., Opitz, D. (1999). Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia*, 410, 111–122.
- Behrendt, H., Dannowski, R. (2005). *Nutrients and heavy metals in the Odra River system*. Weissensee Verlag.
- Behrendt, H., Dannowski, R., Deumlich, D., Dolezal, F., Kajewski, I., Kornmilch, M., Korol, R., Mioduszewski, W., Opitz, D., Steidl, J., Stronska, M. (2002). *Investigation on the quantity of diffuse entries in the rivers of the catchment area of the Odra and the Pomeranian Bay to develop decision facilities for an integrated approach on waters protection (Phase III)*. Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries.

- Behrendt, H., Dannowski, R., Deumlich, D., Dolezal, F., Kajewski, I., Kornmilch, M., Korol, R., Mioduszewski, W., Opitz, D., Steidl, J., Stronska, M. (2003). *Point and diffuse emissions of pollutants, their retention in the river system of the Odra and scenario calculations on possible changes*. Weißensee Verlag.
- Behrendt, H., Huber, P., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G., Uebe, R. (1999). *Naehrstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands*. Berlin: Institute fuer Gewaesseroekologie und Binnenfischerei.
- Behrendt, H., Huber, P., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G., Uebe, R. (2000). *Nutrient emissions into river basins of Germany* (UBA-Texte 23/00).
- Berlekamp, J., Lautenbach, S., Graf, N., Reimer, S., Matthies, M. (2007). Integration of MONERIS and GREAT-ER in the decision support system for the German Elbe river basin. *Environmental Modelling & Software*, 22(2), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.021>
- Bojanowski, D., Orlińska Woźniak, P., Wilk, P., Szalińska, E. (2022). Estimation of nutrient loads with the use of mass balance and modelling approaches on the Wena River catchment example (central Poland). *Scientific Reports*, 12, Article 13052. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17270-4>
- Bonchkovskiy A.S., Osypov V.V. (2024). Otsinka navantazhennia biohennymy elementamy basynu r. Sula vid tochkovykh ta dyfuznykh dzherel [Assessment of nutrients load in the Sula river basin from point and diffuse sources]. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(71), 58–73. [Бончковський, А. С., Осипов, В. В. (2024). Оцінка навантаження біогенними елементами басейну р. Сула від точкових та дифузних джерел. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1(71), 58–73]. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.6>
- Caille, F. (2009). *Integrated environmental assessment of nutrient emissions in a Mediterranean catchment: A case study in La Tordera, Catalonia* (PhD Thesis). Autonomous University of Barcelona, Bellaterra, Spain.
- Caille, F., Riera, J. L., Rosell-Melé, A. (2012). Modelling nitrogen and phosphorus loads in a Mediterranean river catchment (La Tordera, NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2417–2435. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2417-2012>
- De Wit, M. (2000). Modelling nutrient fluxes from source to river load: A macroscopic analysis applied to the Rhine and Elbe basins. *Hydrobiologia*, 410, 123–130.
- De Wit, M., Behrendt, H. (1999). Nitrogen and phosphorus emissions from soil to surface water in the Rhine and Elbe basins. *Water Science and Technology*, 39, 109–116.
- Fischer, P., Gericke, A., Venohr, M. (2018). *Updated integrated Tisza river basin management plan. Annex 2. Further development of the MONERIS model with particular focus on the application in the Tisza River Basin, for the implementation of JOINTISZA project*. Leibniz-Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB).
- Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrand, T., Marscheider-Weidemann, F., Gotz, T. (2010). *Calculation of emissions into rivers in Germany using the MONERIS model. Nutrients, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Report No. (UBA-FB) 001410/E. Environmental research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt)
- Gericke, A., Venohr, M. (2021). *Nutrient Emissions and Loads in the Danube River Basin. Current situation and scenarios for the 3rd Danube River Basin Management Plan – Final report*. Leibniz-Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB).
- Helm, B., Terekhanova, T., Tränckner, J., Venohr, M., Krebs, P. (2013). Attributiveness of a mass flow analysis model for integrated water resources assessment under data-scarce conditions. *Water Science and Technology*, 67(2), 261–270. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.497>
- Hirt, U., Kreins, P., Kuhn, U., Mahnkopf, J., Venohr, M., Wendland, F. (2012). Management options to reduce future nitrogen emissions into rivers: A case study of the Weser river basin, Germany. *Agricultural Water Management*, 115, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.08.005>
- Hirt, U., Venohr, M., Kreins, P., Behrendt, H. (2008). Modelling nutrient emissions and the impact of nutrient reduction measures in the Weser river basin, Germany. *Water Science and Technology*, 58(11), 2251–2258. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.833>
- Khrisanov, N. I., Osipov, G. K. (1993). *Upravlenie evtrofirovaniem vodoemov [Management of eutrophication of reservoirs]*. SPb.: Hydrometizdat. [Хрисанов, Н. И., Осипов, Г. К. (1993). *Управление эвтрофированием водоемов*. СПб.: Гидрометиздат].
- Kondratiev, S. A., Kazmina, M. V., Shmakova, M. V., Markova, Ye. G. (2011). Metod rascheta biogennoi nagruzki na vodnie obekti. [The method of calculating biogenic load on water objects]. *Regional Ecology*, 3-4, 50–59. [Кондратьев, С. А., Казмина, М. В., Шмакова, М. В., Маркова, Е. Г. (2011). Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты. *Региональная экология*, 3-4, 50–59].
- Kondratiev, S. A., Shmakova, M. V., Ulychev, V. I. (2013). *Determinirovano-stokhasticheskoe modelirovanie stoka i biogennoi nagruzki na vodnie obekti (na primere Finskogo zaliva Baltijskogo morya)* [Deterministic-stochastic modeling of runoff and biogenic load on water bodies (on the example of the Gulf of Finland of the Baltic Sea)]. SPb.: Nestor-History. [Кондратьев, С. А., Шмакова, М. В., Уличев, В. И. (2013). *Детерминировано-стохастическое моделирование стока и биогенной нагрузки на водные объекты (на примере Финского залива Балтийского моря)*. СПб.: Нестор-История].
- Kowalkowski, T., Buszewski, B. (2006). Emission of Nitrogen and Phosphorus in Polish Rivers: Past, Present, and Future Trends in the Vistula River Catchment. *Environmental Engineering Science*, 23(4), 615–622. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.615>
- Kowalkowski, T., Pastuszek, M., Igras, J., Buszewski, B. (2012). Differences in emission of nitrogen and phosphorus into the Vistula and Oder basins in 1995–2008 – Natural and anthropogenic causes (MONERIS model). *Journal of Marine Systems*, 89(1), 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.07.011>
- Kronvang, B., Vagstad, N., Behrendt, H., Bøgestrand, J., Larsen, S. E. (2007). Phosphorus losses at the catchment scale within Europe: An overview. *Soil Use and Management*, 23(1), 104–116.
- Lukianets, O. I. (Ed.). (2010). *Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot z dystsypliny «Matematychni metody v hidrometeorologii» dlia studentiv heohrafichnoho fakultetu*. [Methodical instructions for practical work in the course “Mathematical methods in hydrometeorology” for students of the faculty of geography]. Kyiv University Publishing and Printing Center. [Лук'янець, О. І. (Ред.). (2010). *Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету*. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет»].
- Nikolaidis, N. P., Karageorgis, A. P., Kapsimalis, V., Drakopoulou, P., Skoulikidis, N., Behrendt, H., Levkov, Z. (2009). Management of nutrient emissions of Axios River catchment: Their effect

- in the coastal zone of Thermaikos Gulf, Greece. *Ecological Modelling*, 220(3), 383–396. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.003>
- Osyrov, V., Matviienko, Y., Bonchkovskyi, A., Osadcha, N., Mossur, H., Ahafonov, Y. (2023). Land & Water: An interactive web cartography platform for hydrological research in Ukraine. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (pp. 1–5). Taras Shevchenko National University of Kyiv. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520162>
- Palmeri, L., Bendoricchio, G., Artioli, Y. (2005). Modelling nutrient emissions from river systems and loads to the coastal zone: Po River case study, Italy. *Ecological Modelling*, 184, 37–53.
- Pastuszak, M., Kowalkowski, T., Kopiński, J., Doroszewski, A., Jurga, B., Buszewski, B. (2018). Long-term changes in nitrogen and phosphorus emission into the Vistula and Oder catchments (Poland) – Modeling (MONERIS) studies. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(29), 29734–29751. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2945-7>
- Schreiber, H., Behrendt, H., Constantinescu, L. T., Cvitanic, I., Drumea, D., Jabucar, D., Juran, S., Pataki, B., Snishko, S., Zessner, M. (2005). Nutrient emissions from diffuse and point sources into the River Danube and its main tributaries for the period of 1998–2000 – results and problems. *Water Science and Technology*, 51(3-4), 283–290. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0602>
- Schreiber, H., Constantinescu, L. T., Cvitanic, I., Drumea, D., Jabucar, D., Juran, S., Pataki, B., Shishko, S., Zessner, M., Behrendt, H. (2003). *Harmonized Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorous for a Transboundary River Basin. Research Report 200 22 232*. Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany.
- Shakirzanova, Zh. R., Burlutska, M. Ye. (2016). *Hidrolohichni rozrakhunky i prohnozy: konspekt lektzii*. [Hydrological calculations and forecasts: lecture notes]. ODEKU. Шакирзанова, Ж. Р., Бурлуцька, М. Є. (2016). *Гідрологічні розрахунки і прогнози: конспект лекцій*. ОДЕКУ.
- Siman, C., Veliskova, Y. (2020). Impact of different proportions of agricultural land in river catchments on nitrogen surface stream pollution. *Acta Hydrologica Slovaca*, 21(1), 56–64.
- Solomatina, V. D., Pinkina, T. V., Svitelskyi, M. M., Matkovska, S. I., Ishchuk, O. V., Fediuchka, M. M. (2019). Vzaïmozv'язok fosforno-kaltsiïevoho rezhymu vodoïm z yikhnoïu bioproduktyvnostiï (ohliad) [Interconnection of phosphate-calcium regime of reservoirs with their bioproductivity (review)]. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. Series "Agricultural Sciences"*. 2019. 1(85). 105–123. [Соломатіна, В. Д., Пінкіна, Т. В., Світельський, М. М., Матковська, С. І., Ішчук, О. В., Федючка, М. М. (2019). Взаємозв'язок фосфорно-кальцієвого режиму водоïм з їхньою біопродуктивністю (огляд). *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія "Сільськогосподарські науки"*, 1(85), 105–123].
- Terekhanova, T. (2009). *Quantification of water and nutrient flows on a river catchment scale under scarce data conditions (A case study of Western Bug river basin, Ukraine)*. (Master's thesis). Dresden University of Technology.
- Tränckner, J., Helm, B., Blumensaat, F., Terekhanova, T. (2012). Integrated Water Resources Management: Approach to Improve River Water Quality in the Western Bug River Basin. In T. Nałęcz (Ed.), *Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of The European Union*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3949-9_6
- Tzoraki, O., Cooper, D.M., Dörfinger, G., Panagos, P. (2014). A new MONERIS in-Stream Retention Module to Account Nutrient Budget of a Temporary River in Cyprus. *Water Resources Management*, 28, 2917–2935. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0646-7>
- Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J., Matranga, M., Mahnkopf, J., Gadegast, M., Behrendt, H. (2011). Modelling of Nutrient Emissions in River Systems - MONERIS - Methods and Background. *International Review of Hydrobiology*, 96(5), 435–483. <https://doi.org/10.1002/iroh.201111331>
- Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Ortelbach, K., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J. (2009). *The Model System MONERIS, version 2.14.1 vba*, Manual. Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries in the Forschungsverbund, Berlin e.V.

Сучасний стан та особливості трансформації меліоративної системи у межах басейну річки Остер

Юрій Філоненко 

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська область, 16600, Україна

Реферат

Проаналізовано сучасний стан меліоративної системи, яку було споруджено з метою водовідведення та водопостачання у межах басейну річки Остер. Досліджено морфологічні та морфометричні особливості окремих її складових та розглянуто вплив меліоративних робіт і їх наслідків на характер поверхні і формування ландшафтів на дослідженій території. Встановлено, що найбільш суттєвих змін поверхня схилів і дна каналів, прилегла до них територія, а також інші елементи меліоративної системи зазнають внаслідок антропогенного впливу, площинного змиву, дії підземних вод, гравітаційних процесів, вітру і рельєфотвірного впливу біоти. Виявлено, що на каналах з низьким рівнем або короткотерміновою присутністю води сформувалися галерейні ліси та чагарники. Встановлено, що для значної частини каналів у межах території басейну річки Остер характерне явище заболочування. Темпи цього процесу стали зростати в останні роки. Його причиною скоріше за все може бути активне застосування суб'єктами господарювання стимуляторів росту рослин, які змиваються з полів і потрапляють у канали, будівництво дамб, а також діяльність бобрів.

Ключові слова

Меліорація, канал, глибина, територія, схил, пасмо, вода, річка, польові дослідження, площа, борозна, осип
Надійшла до редакції: 1 червня 2024 / Прийнята: 27 червня 2024 / Опублікована онлайн: 30 червня 2024

The current state and features of the transformation of the reclamation system within the Oster River basin

Yuriy Filonenko

Nizhyn Mykola Gogol State University, Grafska St., 2, Nizhyn, Chernihivska Oblast, Ukraine, 16600

Abstract

The peculiarities of carrying out reclamation works and their influence on the nature of the surface and the formation of landscapes within the territory of the Oster River basin were analyzed. Based on the data from our own field research and having processed the necessary materials of scientists who were engaged in this matter, the morphological and morphometric features of individual components of the reclamation system were analyzed. During the field research carried out by us during 2022-2024, the method of field route observations, surveys, photography, morphological and morphometric analyses were used. As a result of the research which was conducted, it was established that the territory of the Oster River basin belongs to those regions of our country where drainage works have long been carried out for the purpose of increasing the arable land area, setting construction sites and other economic needs. An extensive system of reclamation canals gradually formed here and it reached its greatest extent in the 1960s. Due to the fact that since the 1990s the work on maintaining the state of the reclamation system objects within the project parameters has almost completely stopped, most of the reclamation canals in the studied territory significantly changed their morphological and morphometric characteristics, and some of them even their function. The surface of the slopes and the bottom of the canals, the adjacent territory as well as other elements of the reclamation system undergo the most significant changes as a result of anthropogenic influence, planar washing, groundwater activity, gravitational, wind, and relief-forming processes. Gallery forests and shrubs have formed on the canals with a low level or short-term presence of water. In addition, a significant part of the canals within the territory of the Oster River basin is characterized by the phenomenon of waterlogging.

Keywords

Reclamation, canal, depth, territory, slope, strand, water, river, field research, area, furrow, scree
Received: 1 June 2023 / Accepted: 27 June 2024 / Published online: 30 June 2024

1. Вступ

Дослідження наслідків впливу меліорації на довкілля та стану меліоративних систем і їх окремих складових здійснювалося ще наприкінці XIX – початку XX ст. Це пов'язано з тим, що в даному регіоні нашої держави значні площі було зайнято перезволоженими територіями. Щоб залучити їх до господарського використання, необхідно було зробити водовідведення, яке передбачало великі об'єми земляних робіт і спорудження досить густої мережі каналів та інших гідротехнічних споруд. Меліоративна

система, яка виникла на Ніжинщині, в результаті проведених робіт з водовідведення потребувала постійного догляду та реконструкції, оскільки під дією різноманітних чинників рельєфотворення окремі її складові досить швидко змінювали свої морфологічні та морфометричні характеристики. Нині, через відсутність таких робіт, відкриті канали, складові глибинного дренажу, мости, трубні мостові переходи, шлюзи-регулятори і дамби мають значні відхилення від своїх проектних параметрів, а на багатьох каналах фіксується явище заболочування та виникають галерейні ліси і чагарники. Метою даного

Corresponding author:

Yuriy Filonenko
Nizhyn Mykola Gogol State University, Grafska St., 2, Nizhyn, Chernihivska Oblast, Ukraine,
16600
Email: filonenkojurij@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

дослідження є детальне вивчення сучасного стану та особливостей трансформації меліоративної системи у межах басейну річки Остер. Мета пов'язана із виконанням таких завдань: вивчення впливу площинного змиву, підземних вод, гравітаційних процесів, антропогенної та вітрової діяльності і біоти на різні складові меліоративної системи; дослідження особливостей процесу заболочування у руслах водовідвідних каналів; вивчення морфологічних та морфометричних особливостей окремих об'єктів меліоративної системи.

2. Матеріали і методи

Про особливості меліоративних робіт та їх вплив на характер поверхні і формування ландшафтів як загалом в Україні, так і на Ніжинщині зокрема, можна отримати інформацію з публікацій Балюка С. А. та ін. (2015), Гадзало Я. М. та ін. (2017), Герасимчука О. М. (2015), Гриба Й. В. (2002), Зайця О. (2012), Зубця М. В. та ін. (2008), Коваленка П. І. (2001), Кривульченка А. І. (2023), Лановенка О. Г. (2013), Наседкіна І. Ю. та ін. (2008), Трускавецького Р. С. (2010), Цумана Н. В. та ін. (2009), Яцюка М. В. (2022) та інших дослідників. Опрацювання зазначених публікацій, а також матеріали власних польових досліджень, дали змогу досить детально дослідити сучасний стан та особливості трансформації меліоративних каналів, які були споруджені на території Ніжинського району Чернігівської області. У процесі проведення досліджень застосовувалися камеральні (літературний, картографічний, статистичний, методи комп'ютерних технологій) та польові (маршрутних спостережень, морфологічного та морфометричного аналізу рельєфу) методи.

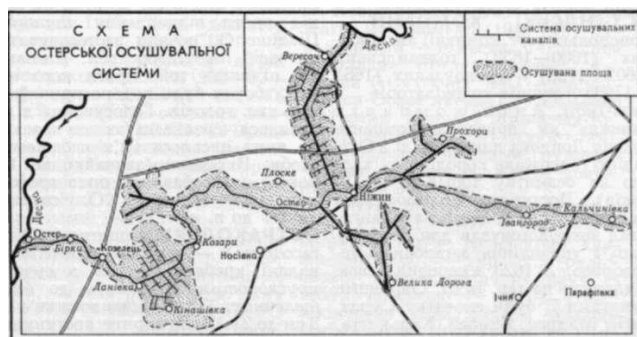


Рис. 1. Схема Остерської осушувальної системи [10].
Fig. 1. Scheme of the Oster drainage system.

3. Результати та обговорення

У 60-х роках ХХ століття на території Чернігівщини в басейні річки Остер загалом завершилося будівництво меліоративної системи, яка була розрахована на осушення перезволожених територій площею понад 34 тис. га. Ця система об'єднала сотні км відкритих каналів (понад 670) і закритого (глибинного) дренажу, а також численні мости, трубні мостові переходи і шлюзи-регулятори (рис. 1). У 70-х і 80-х роках регулярно здійснювалась реконструкція осушувальної системи. Зокрема, проводилися роботи з розчищення та поглиблення каналів і закріплення їх бровок та схилів. Вивозилися або розрівнювались та затрамбовувалися на прилеглій до каналів території пухкі відклади їх русел.

Починаючи з 90-х років ХХ ст. такі роботи припинилися. Це призвело до того, що, більшість меліоративних каналів на території Ніжинського району значно змінили свої морфологічні та морфометричні характеристики, а окремі з них і свою функцію. Сама річка Остер обміліла і навіть у найглибших місцях показник глибини рідко перевищував 1 м, а якість води в ній погіршилася (особливо протягом останнього десятиліття). На територіях осушених ділянок, через які було прокладено канали, майже щорічно (часто через зумисні підпали) відбувалися загоряння сухого трав'яного покриву і торфу,

У перші ж роки свого існування для більшості каналів був характерний переважно V-подібний та, в окремих місцях, параболічний поперечний переріз. З часом, головним чином внаслідок впливу площинного змиву, підземних вод, гравітаційних процесів, антропогенної та вітрової діяльності і біоти, поверхня їх схилів і дна зазнали суттєвих змін. Майже всі канали Ніжинщини стали мати трапецієподібний або полігональний переріз (рис. 2). Одразу після проведення земляних робіт через



Рис. 2. Канал трапецієподібної форми (східна околиця с. Бурківка) (фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 2. A trapezoidal channel (the eastern outskirts of the village of Burkivka) (photo by Yu. M. Filonenko).

відсутність рослинного покриву на схилах меліоративних каналів активного розвитку набув площинний змив та лінійний розмив (формувався численні ерозійні борозни та їх конуси виносу), а також осипний процес, мікрообвали та зсуви. Виняток складали лише закріплені бетонними плитами ділянки каналів, які прилягали до мостів та шлюзів.

На схилах каналів під час польових досліджень 2020–2023 років нами також було виявлено численні ерозійні борозни та їх конуси виносу. Останні зустрічалися не лише поруч з ерозійними борознами, а й у місцях виходу труб колекторно-дренажних трубопроводів.

На незначній відстані (найчастіше 1–1,5 м) від бровки окремих меліоративних каналів, розташовуються лінійно витягнуті (часто звивисті) пасма висотою до 2 м із шириною основи 4–6 м (рис. 3; 4).

Ці пасма складені пухким ґрунтово-піщано-глинистим матеріалом і часто є об'єктами стихійного видобутку глини та піску. Це стало причиною формування досить значної кількості невеликих кар'єрів (глибина до 1,5 м і площа від кількох до 20 м²), які місцеві мешканці називають «ямами» або «глинищами». Лише на західній околиці

міста Ніжина під час польових робіт нами виявлено 9 таких об'єктів (рис. 5).

Необхідно відзначити, що такі дрібні кар'єри і частини русел каналів (особливо у межах населених пунктів), через неконтрольоване викидання побутових відходів стають місцем формування стихійних сміттєзвалищ.

За часів колишнього СРСР та в перші роки незалежності України меліоративні канали мали прибережні захисні смуги (водоохоронні зони). В останні ж роки поблизу більшості меліоративних каналів Ніжинщини такі захисні смуги, і навіть, польові дороги, зникли. Це сталося через недотримання природоохоронних вимог сільгоспвиробниками, які в гонитві за збільшенням площ орних земель «доводять» оброблювані угіддя до самої бровки каналів.

На формування поверхні прибережної території та схилів важливий вплив має також напрямок обробітку ґрунту (особливо при нахилі поверхні поля у бік каналу). Коли оранка (культивування, дискування, висівання тощо) проводиться перпендикулярно до лінії бровки, то виникають умови для формування лінійного змиву внаслідок танення снігу або під час сильних злив (рис. 6).



Рис. 3. Пасмо поруч з меліоративним каналом (західна околиця м. Ніжина) (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 3. A strand next to the reclamation canal (the western outskirts of Nizhyn) (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 4. Меліоративний канал з пасмом неподалік ніжинської окружної дороги (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 4. Reclamation canal with a strand near the Nizhyn ring road (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 5. Місце видобутку глини (західна околиця м. Ніжина) (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 5. The clay pit site (the western outskirts of Nizhyn) (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 6. Розвиток лінійної ерозії на нахиленому полі поблизу каналу (західна околиця м. Ніжин) (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 6. Development of linear erosion on an inclined field near the channel (the western outskirts of Nizhyn) (photo by Yu. M. Filonenko).

При обробі ґрунту паралельно до бровки і завдяки мережі мікрозападин та мікропasm швидкість руху води суттєво сповільнюється, а, відповідно, й зменшуються об'єми пухкого матеріалу, що потрапляє на схили та дно каналів.

В останнє десятиліття (включно з роками повномасштабного вторгнення росії) на меліоративних каналах Ніжинщини досить часто перед шлюзами (переважно недіючими) і трубними мостовими переходами з метою затримання та збереження вологи сільгоспвиробники насипають блокуючі дамби шириною від 2-3 до 4-5 м та утрабують їх поверхню (рис. 7).

Схили таких дамб є нестійкими. Тут має місце опливання пухких порід, їх лінійний розмив, площинний змив та осипання, що зумовлює виникнення форм рельєфу, які за розміром найчастіше мають ранг піко- та наноєфу.

Крім того, під час польових досліджень на багатьох таких рельєфоїдах як трубні мостові переходи нами було зафіксовано руйнування поверхні та схилів, а також засипання та замулення труб, що суттєво утруднює (а інколи й повністю блокує) проходження води.

Причиною цього є вплив гравітації, площинного та лінійного змиву, які спровоковані діяльністю людини. На жаль, мешканці сіл часто розбирають для побутових потреб каркаси із залізобетонних плит, які служили для укріплення схилів каналів поруч з мостовими переходами.

Часто також має місце відокремлення від основної конструкції споруди торцевих залізобетонних плит, які встановлюються над трубами з обох боків мостових переходів (рис. 8). Як наслідок, формуються улоговини («мініпровали») довжиною кілька м і шириною до 1 м, а також відбувається осипання та обвалювання ґрунтових товщ.

Важливу роль у трансформації меліоративних каналів Ніжинщини відіграє також біота. Так, у місцях випасу худоби на схилах каналів фіксуються витягнуті улоговини – скотогінні стежки. Проте останнім часом їх кількість суттєво зменшується через вирівнювання та заростання, оскільки в сільській місцевості стрімко скорочується



Рис. 7. Дамба перед мостовим переходом поблизу с. Прохори (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 7. The levee in front of the bridge crossing near the village of Prokhory (photo by Yu. M. Filonenko).

поголів'я ВРХ у приватних господарствах, а великі тваринницькі комплекси практикують безвипасний спосіб утримання худоби.

До каналів, у яких вода перебуває лише короткий період часу (навесні внаслідок танення снігу та в окремі дні влітку після сильних злив), приурочені галерейні ліси та чагарники (рис. 9). Схили таких досліджених нами каналів були різної довжини (1-9 м) та крутизни (інколи 70°). Вони густо вкриті деревною (верба, осика, береза, тополя біла або срібляста, дикі груші, яблуні, алича, абрикоси; зрідка вільха, сосна, дуб, клен) та чагарниковою (лоза, горобина, дика обліпіха) рослинністю. Їх дно має переважно овальну, зрідка ящикоподібну форму, і складене пухким глинистим або суглинистим матеріалом потужністю 0,2-0,3 м.

Дуже часто на дні каналів з галерейними лісами рослинність (навіть трав'яниста) відсутня, а інколи буває представлена верболосом. У тих каналах, де домінують чагарники, вони займають практично весь їх периметр (і схили, і дно).

Слід відзначити також, що для значної частини каналів Ніжинщини характерне явище заболочення (рис. 10). Темпи цього процесу стали зростати в останні роки. Його причиною скоріше за все може бути активне застосування суб'єктами господарювання стимуляторів росту рослин, які змиваються з полів і потрапляють у канали, будівництво дамб, а також діяльність бобрів.

Крім того, на схилах багатьох каналів є нори бобрів (рис. 11), хом'яків, полівок тощо, а також «копанки» («порої») диких свиней (рис. 12), численні стежки тварин, ґрунтові та ґрунтово-опадні мурашники, кротовини і норні гнізда птахів (головних чином берегових ластівок) (рис. 13), які значною мірою визначають характер їх поверхні.

Під час польових робіт перед кількома трубними мостовими переходами нами було виявлено боброві греблі, а в окремих місцях і боброві хатки (рис. 14). Греблі мали висоту в середньому 0,6-0,7 м (одна з виявлених нами гребель досягала висоти 1 м), а їх ширина рідко



Рис. 8. Руйнування мостового переходу на північ від с. Мильники (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 8. Destruction of the bridge crossing to the north of the village of Mylnyky (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 9. Галерейний ліс (західна околиця м. Ніжин)
(фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 9. The gallery forest (the western outskirts of Nizhyn)
(photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 10. Формування болота у каналі
(східна околиця с. Бурківка) (фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 10. The swamp formation in the channel
(the eastern outskirts of the village of Burkivka) (photo by
Yu. M. Filonenko).



Рис. 11. Нора бобра (канал на східній околиці с. Мильники) (фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 11. The beaver hole (the channel on the eastern outskirts of the village of Mylnyky) (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 12. «Порої» диких свиней (канал на південній околиці с. Пам'ятне) (фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 12. Wild pigs activity (the channel on the southern outskirts of the village of Pamyatne) (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 13. Норні гнізда берегових ластівок (канал на південь від с. Колісники) (фото Філоненка Ю.М.).
Fig. 13. Burrow nests of shore swallows (the channel south of the village of Kolisnyky) (photo by Yu. M. Filonenko).



Рис. 14. Боброва гребля (канал на північ від с. Ніжинське) (фото Філоненка Ю. М.).
Fig. 14. Beaver dam (the channel north of the village of Nizhynske) (photo by Yu. M. Filonenko).

перевищувала 0,4 м. Найчастіше для виготовлення таких гребель тварини використовували невеликі гілки, траву, листя та мул, а на каналах, де була відсутня деревна та чагарникова рослинність, греблі були зведені виключно з мулу та залишків вологолюбної рослинності.

Варто також згадати і той факт, що на каналах, які були прокладені по периметру лісових масивів, в окремі роки фіксувалась наявність заломів (завалів, скупчень гілок), що блокували рух води.

Не можна залишити поза увагою і той факт, що канали Ніжинщини з об'єктів водорегулювання перетворилися з часом на місця сінокосів (схили), полювання та риболовлі, а деякі й пляжного відпочинку.

У каналах з галерейними лісами в останні роки активно проводяться нелегальні вирубування дерев (рис. 15). Як показали польові дослідження, тут має місце вирубування деревостою діаметром від 15-20 см і вище. Найчастіше випилюють вербу, осику, тополю білу (сріблясту), а також дикорослі фруктові дерева – груші, яблуни, абрикос. Здійснюється нелегальна лісозаготівля переважно в зимовий час. Внаслідок такої антропогенної діяльності формуються фітогенно-антропогенні форми рельєфу, які за розміром належать до мікро- та наноформ.



Рис. 15. Місце вирубування верби (західна околиця м. Ніжина) (фото Філоненка Ю. М.).

Fig. 15. A willow cutting site (the western outskirts of Nizhyn) (photo by Yu. M. Filonenko).

4. Висновки

1. Ніжинщина належить до тих регіонів нашої держави, де з метою збільшення посівних площ, підготовки будівельних майданчиків та інших господарських потреб здавна проводилися роботи з водовідведення.


2. Тут поступово сформувалась розгалужена система меліоративних каналів, яка досягла найбільшого розмаху у 60-х роках ХХ століття.

3. Внаслідок того, що з 90-х років ХХ ст. було майже повністю припинено роботи по підтриманню стану об'єктів меліоративної системи у межах проектних параметрів, більшість меліоративних каналів на території Ніжинщини значно змінили свої морфологічні та морфометричні характеристики, а окремі з них і свою функцію.

4. Найбільш суттєвих змін поверхня схилів і дна каналів, прилегла до них територія, а також інші елементи меліоративної системи зазнають внаслідок антропогенного впливу, площинного змиву, дії підземних вод, гравітаційних процесів, вітру і рельєфотвірного впливу біоти.

5. На багатьох каналах Ніжинщини сфоормувались галерейні ліси і чагарники, а також має місце процес заболочування.

ORCID iD

Yuriy Filonenko  <https://orcid.org/0000-0002-2371-0924>

Список посилань

- Baliuk S. A., Romashchenko I. M., Truskavetskyi R. S. *Melioratsiia gruntiv*. Kherson: Hrin D.S., 2015. 668 s. (In Ukrainian).
- Hadzalo Ya. M., Stashuk V. A., Rokochynskyi A. M. *Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainskoho Polissia*: [kolektyvna monohrafiia]. Kherson: OLDI-PLIUS, 2017. T.2. 854 s. (In Ukrainian).
- Herasymchuk O. M. Hidromelioratyvni roboty v raionakh zemlevporiadkuvannia na Chernihivshchyni v roky stolypynskoi aharnoi reformy (1906–1917 rr.) // *Sivrianskyi litopys*. 2015. № 3. S. 122-129. (In Ukrainian).
- Hryb Y. V., Sondak V. V., Kiriushenko N. V. Viddaleni ekolohichni naslidky vplyvu osushuvalnykh melioratsii v baseinakh malykh richok // *Visnyk UDUVH*. Rivne: Vydavnytstvo UDUVH. – 2002. Ch. 1. Vyp. 5 (18). S. 10–15. (In Ukrainian).
- Kovalenko P. I. *Suchasnyi stan, osnovni problemy vodnykh melioratsii ta shliakhy yikh vyrishennia*. K.: Aharna nauka, 2001. 214 s. (In Ukrainian).
- Kryvulchenko A. I. *Melioratyvna heohrafiia*: pidruchnyk. K.: «Karavela», 2023. 236 s. (In Ukrainian).
- Lanovenko O. H., Ostapishyna O. O. *Slovnnyk–dovidnyk z ekolohii: navchalno-metodychni posibnyk*. Kherson: PP Vysheymyrskyi V.S., 2013. 226 s. (In Ukrainian).
- Nasiedkin I. Yu., Tsvietova O. V., Riabtsev H. P., Yakovenko Yu. P. Ekoloho-melioratyvnyi monitorynh osushuvanykh zemel // *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. K.: Aharna nauka. 2008. Vyp. 96. S. 3–13. (In Ukrainian).
- Osterska osushuvalna systema*. URL:<https://esu.com.ua/article-77126>. (In Ukrainian).
- Osterska osushuvalna systema*. URL:<https://leksika.com>.

- ua/11990620/ure/osterska_osushuvalna_sistema (In Ukrainian).
11. Truskavetskyi R. S. *Torfovi grunty i torfovyyshcha Ukrainy* Kharkiv: Miskdruk, 2010. 278 s. (In Ukrainian).
 12. Tsuman N. V., Zhuravel S. V., Stroivans L. T. [ta in.] Vplyv melioratsii na vodnyi balans bolotnykh masyviv u zoni zakhidnoho Polissia Ukrainy // *Visnyk ZhNAEU*. – 2009. № 1. S. 146–154. (In Ukrainian).
 13. *Vykorystannia meliorovanykh zemel i melioratyvnykh system bude vrehulovano*. URL: <http://zem.ua/uk/home/67-golovni-novini/923-vikoristannya-meliorovanikh-zemel-i-meliorativnikh-sistem-bude-vregulovano>. (In Ukrainian).
 14. Yatsiuk M. V. *Osterska osushuvalna sistema* // *Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy* [Elektronnyi resurs] / Redkol.: I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskiy, M. H. Zhelezniak [ta in.]; NAN Ukrainy, NTSh. K. :Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy, 2022. URL: <https://esu.com.ua/article-77126>. (In Ukrainian)
 15. Zaiets O. Zemska melioratsiia na Chernihivshchyni, abo Chomu na Livoberezhnomu Polissi tak malo bolit // *Siverianskyi litopys*. 2012. № 1-2. S. 127-133. (In Ukrainian).
 16. Zubets M. V., Kovalenko P. I., Mykhailov Yu. O. Problema vykorystannia melioratyvnykh zemel v Ukraini // *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. K.: Ahrarna nauka. 2008. Vyp. 96. S. 3–13. (In Ukrainian).
 17. *Zvit pro naukovo-doslidnu robotu doslidzhennia antropohennoho vplyvu na hidrolohichniy ta ekolohichniy rezhym r. Oster Chernihivskoi oblasti*. URL: https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2018/02/docs/%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%A0-%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2-%D0%97%D0%90%D0%93%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%98%D0%99-17-12.compressed.output.pdf. (In Ukrainian).

Реконструкція рослинності і ґрунтів басейну середньої течії р. Сули на початку передостаннього та останнього міжзледенінь

Ілля Кравчук , Наталія Герасименко 

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

Реферат

Природне середовище нашої планети знаходиться під значним антропогенним впливом. Водночас багаторічними дослідженнями встановлено ритмічність розвитку біосфери на Землі. Маркером змін у біосфері є зміни в ландшафтах, а маркером у них – зміни рослинності та ґрунтового покриву, адже їх найлегше прослідити у відкладах та хроносі. Вважається, що зміни цих компонентів палеоландшафтів на початку двох останніх міжзледень є співставними. Виходячи з принципу актуалізму, ми можемо дати прогноз тому, як буде змінюватися клімат на протязі всього голоцену та порівняти цей прогноз із тими трендами, що фіксуються на даний час. Саме для цього складного завдання вкрай необхідним є встановлення реперів, котрі можуть зв'язати обидва міжльодовиків'я. Таким, власне, і є актуальність та мета нашої роботи. В статті представлені результати дослідження, котре полягало у знаходженні підстадій-аналогів кінця дніпровського та початку кайдацького етапів з початком останнього міжзледеніння через проведення реконструкцій рослинних угруповань та ґрунтів.

Ключові слова

Лесово-ґрунтова формація, палінологія, палеопедологія, реконструкція, палеоклімат, міжзледеніння, стратиграфічна кореляція, палеонтологія, георхеологія

Надійшла до редакції: 18 червня 2024 / Прийнята: 27 червня 2024 / Опублікована онлайн: 17 липня 2024

The vegetation and soils reconstruction of the Middle Sula River basin at the beginning of the Last Interglacial and the Holocene

Illia Kravchuk, Natalia Gerasimenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

Abstract

The planet's natural environment is under significant anthropogenic impact. At the same time, the long-term studies have established rhythms of the development of the biosphere. Landscapes changes are a marker of changes in the biosphere. In turn, changes in vegetation and the soil cover are a marker in the landscape changing (because it's easier to trace their in sediments and chronos). It is believed that changes in these components of palaeolandscapes at the beginning of the two latest interglacials are comparable. We can give a forecast based on the Lyell's principle of Uniformitarianism about how the climate will be change throughout the entire Holocene and compare this forecast with the trends that we are fixing now. It is extremely necessary to establish benchmarks for this complex objective which ones can connect both interglacials. Strictly speaking, it is the objective of this work. The article presents the results of the study, which consists in finding analogues of phases at the beginning of the Last Interglacial period and the Holocene through the reconstruction of plant communities and soils.

Keywords

Loess-palaeosol sequence, palynology, palaeopedology, reconstruction, palaeoclimate, interglacial, stratigraphic correlation, palaeontology, georcheology

Received: 18 June 2023 / Accepted: 27 June 2024 / Published online: 17 July 2024

1. Вступ

На сучасному етапі розвитку людства проблема зміни клімату є критично важливою. Не існує консенсусу щодо масштабів впливу людської діяльності на цей процес. Для оцінок антропогенного впливу необхідним та логічним є встановлення природних трендів змін клімату впродовж міжзледеніння задля зіставлення отриманого прогнозу з тим станом природного середовища, котрий ми спостерігаємо на сьогодні. Таким чином, ми повинні чітко усвідомлювати характер змін клімату впродовж пройденого відрізка останнього міжзледеніння, тобто голоцену.

В свою чергу, зміни природного середовища є циклічними насамперед через зміну в хроносі

параметрів руху Землі як небесного тіла. Отже, знаючи те, як змінювався клімат у певний період історії розвитку біосфери, зіставний із нашим, і використовуючи принцип актуалізму, ми можемо провести аналогії щодо майбутніх прогнозних змін природного середовища у голоцені.

Логічним завданням, що витікає із вищезначеного, є встановлення змін довкілля впродовж етапу-аналогу голоцену, причому на рівні мікроетапності (підстадії та фази). Виходячи із того, що кліматичні зміни у часі найбільш чітко і достовірно фіксуються змінами рослинних біомів та ґрунтового покриву, в своїй роботі ми будемо аналізувати подібні зміни за цимидвома компонентами ландшафтів території дослідження.

Corresponding author:

Illia Kravchuk, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St, Kyiv, 01601, Ukraine
Email: elijah.kravchuk@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Використання даних, отриманих із геоархеологічних пам'яток, що відносяться до початку голоцену у цьому районі (Navrylenko, 2000; Iakovleva et al., 2018) дало нам необхідну інформацію про зміни природного середовища впродовж голоцену.

В роботі ми обмежилися зіставленням рівнів мікроетапності початку голоцену і початку етапу-аналогу – останнього міжзледеніння задля встановлення чіткого палеогеографічного реперу для майбутніх робіт стосовно змін природних умов у голоцені на Лівобережжя Придніпров'я.

2. Матеріали і методи

В роботі були застосовані літолого-педологічний, частково геоархеологічний та палінологічний методи. Останній складався з послідовних етапів мацерації, сепарації (центрифугування у вмісній рідині (розчин KdJ_2 і KJ) питомою вагою у $2,0-2,2 \text{ г/см}^3$) і мікроскопуванні проб субфосильних відкладів. Етап мацерації полягав у послідовних кип'ятінні і відмиванні наважки в: 1) 10 % розчині HCl – для видалення карбонатів і легкорозчинних солей; відмивання до досягнення нейтральної реакції розчину; 2) 15 % розчин $Na_4P_2O_7 \times 10H_2O$ (пірофосфат натрію) – для видалення мулистій фракції; до досягнення розчину прозорого стану чи стану опалесценції; 3) 10 % розчині HCl – задля видалення вторинних карбонатів, що утворилися під час руйнування $Na_4P_2O_7 \times 10H_2O$ діагенетичних карбонатно-глинистих новоутворень навколо мікрофосилій; також до досягнення нейтральної реакції 4) 10 % розчин KOH – для кінцевого вилучення органічних решток та гумусової фракції із зразка; до досягнення і нейтральної

реакції, і стану прозорості/опалесценції). Інтервал між кожним відмиванням диктувався законом Стокса і не проводився частіше, аніж кожні 3 години. За потреби зразок оброблявся 40 % Hf задля видалення зерен кварцу (тобто, при наявності у наважці значного вмісту піску). На центрифугування зразки готувалися з використанням 10 % Hf . Для мікроскопування нижнім лімітом підрахунку вважалася кількість 100-150 пилових зерен.

Зразки відкладів, за якими нами було проведено реконструкції рослинності та ґрунтів початку передостаннього міжзледеніння, були отримані із розрізу Ясени-2 (басейн середньої Сули). Дані ж по голоцену було отримано за результатами проведених до цього вишукувань на археологічних пам'ятках Межирічської верхньопалеолітичної культури (с. Гінці Лубенського району) кінця останнього зледеніння (Iakovleva et al., 2018) і Зимівниківської мезолітичної культури початку голоцену (між с. В'язівка та сусіднім до нього с. Олександрівка) (Navrylenko, 2000). Між нашим розрізом та Зимівниківською стоянкою 3 км, а між ними та Гінцями – близько 25 км (рис. 1).

Логіка вибору цієї ділянки, а саме середньої течії р. Сули (межиріччя Удаю та Сліпороду) полягала у наступному: 1) наявності добре збережених давніх балок, в яких містяться стратиграфічно повні опорні відслонення; 2) відносно спокійним низхідним тектонічним режим авлакогену, котрий являє собою Дніпровсько-Донецька западина; 3) закладання річкових долин у післядніпровський час; 4) наявністю відносно близько розташованих стоянок, які репрезентують початок останнього міжзледеніння.

Для завдання реконструкції рослинності ми застосовували метод біомізації. Біоми (формації) є найвищою категорією при класифікації рослинності

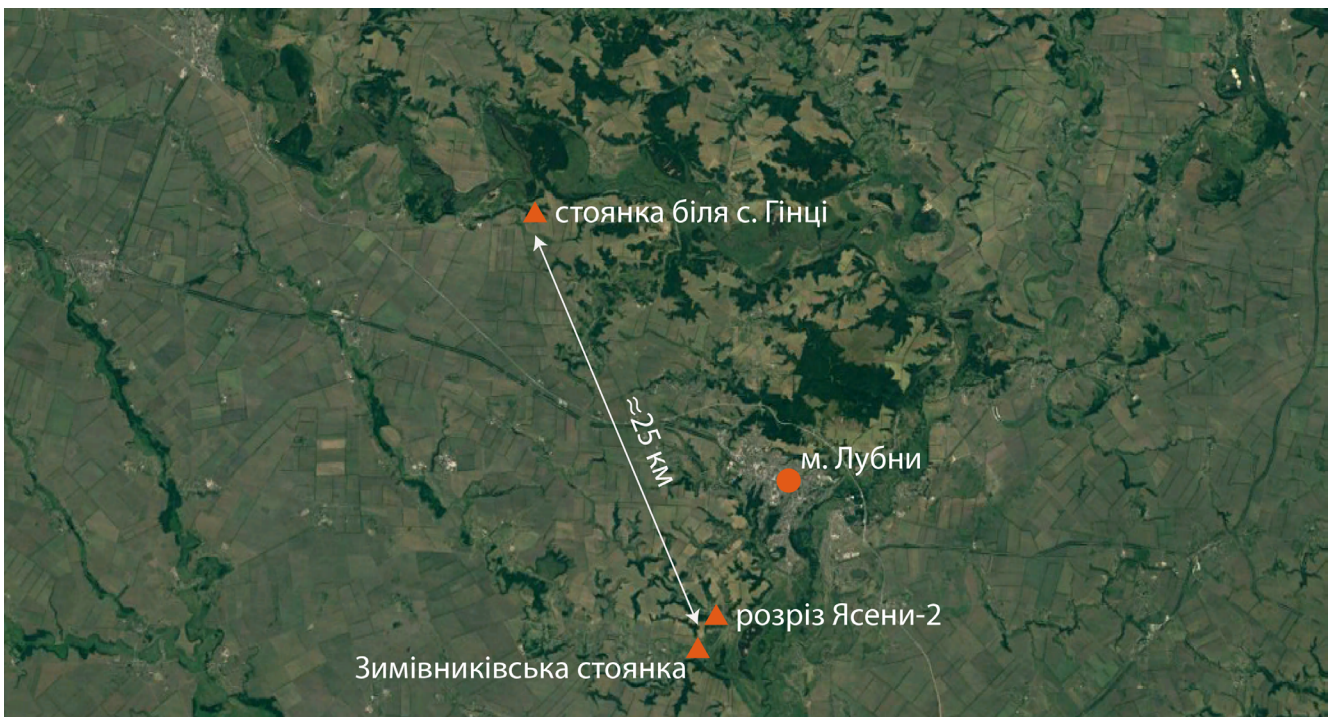


Рис. 1. Розташування стоянок та розрізу (картографічна основа: Landsat 8 та Copernicus)

Fig. 1. Archaeological sites and the palaeosol section location (Landsat 8 and Copernicus map basis).

і являють собою сукупності спільнот із пануванням однієї життєвої форми (тундра, тайга, степ, широколисті листопадні ліси тощо) (Mirkin and Naumova, 1998).

Складовими біомів слугують одиниці більш дрібного рангу – функціональні типи рослинності (ФТР). Таксони, що входять до певного ФТР, можуть об'єднувати такі параметри як філогенетичні характеристики, подібна життєва форма, розмір рослин, особливості сезонного розвитку, відношення до екологічних факторів. ФТР є елементарною одиницею для глобального екологічного моделювання. Е. О. Вох (1981, 1996) виділив 90 ФТР, які застосовуються при реконструкціях природних умов минулих епох, заснованих на співставленні таксонів до таких кліматичних факторів, як температура і кількість опадів.

Кожен таксон на підставі його життєвої форми, екології та відношенні до деяких кліматичних показників потрапляє у певний функціональний тип рослинності. Деякі таксони можуть потрапити до різних ФТР, якщо їх види мають різну екологію. Результат розподілу таксонів по функціональним типам рослинності відображається у вигляді співвідношення ФТР до таксонів. Функціональні типи рослинності об'єднуються в біоми, утворюючи вже співвідношення ФТР до біом, тобто набір певних ФТР характеризує певний біом. В результаті створюється співвідношення таксонів до біом, в якій кожен палінотаксон віднесений до одного або кількох біомів (Вох, 1981, 1996).

Реконструкція палеокліматів базувалася на підході, що полягає у обліку присутності таксонів в складі викопної флори. В його основі лежить твердження про незмінність екологічних вимог видів рослин і про те, що сучасне географічне поширення рослин обумовлено кліматом (Grichuk, 1985). Межі ареалу виду визначаються переважно його вимогами до теплозабезпеченості та вологості. Передбачається, що якщо в даний час існує район, в якому спільно ростуть ті види, залишки яких визначено у викопному стані в будь-якому стратиграфічному горизонті (центр концентрації), то і кліматичні умови цього району ідентичні (або близькі) до клімату, який існував під час життя даної палеофлори.

3. Результати та обговорення

На досліджуваній території відклади початку передостаннього міжзледеніння встановлені за палінологічними даними у розрізі, розташованому на дні давньої балки на правому березі р. Сула біля с. В'язівок.

Результатом проведення реконструкцій рослинності стала спорово-пилкова діаграма (рис. 2), в котрій були представлені відклади початку передостаннього міжзледеніння, а саме кінець дніпровського та початок кайдацького часів за схемою палеогеографічної етапності (Gerasimenko, 2006).

Дніпровський час представлено підстадією dn_3 . Характеризується спорово-пилковим спектром *холодного степу*: AP (пилки деревних) 9-21 %, NAP (пилки трав'янистих) 36-63 %, спори 28-43 %.

У складі деревних порід найбільше пилку *Pinus sylvestris* (5-8 %) і *Betula* (1-10 %), в межах 2 % зустрічаються *Picea* та *Alnus*. Широколистяних деревних порід немає, окрім перевідкладеного *Quercus* (до 2 %). У складі трав переважає різнотрав'я, серед якого найбільше зустрічається паліноморф родин Суревцеві (10-20 %), Роосеві (3-11 %), Астерцеві (2-8 %), Ламієві (6-8 %), Ранолюєві (2-4 %) та роду *Ephedra* (4-9 %). Також часткою до 2 % від загальної кількості пилку та спор представлено Brassicеві, Сікорієві, Chenopodiєві. Спори представлені паліноморфами Bryales (15-25 %), Lycopodiєві (2-22 %), Equisetєві (до 5 %) та Polypodiєві (1 %). Наявні спори зелених водоростей роду *Pediastrum*.

Кайдацький час представлений декількома підстадіями. Підстадія kd_{1a1} включає спочатку *лісостеповий спектр*, а у другій фазі (Ясени-4) характеризується спектром, подібним до *лісового спектру торфових боліт*, а саме: AP 28-37 %, NAP 12-32 %, спори 31-59 %. З деревних порід представлені *Pinus sylvestris* (10-20 %), *Picea* (12-15 %) та *Betula* (2-4 %), в межах 1 % зустрічається *Alnus*, також присутні представники родини Ericєві (1 %). З трав вирізняються за кількістю гідрофіти родин Суревцеві (2-14 %). Дещо менше представників Роосеві (до 8 %), Астерцеві (до 4 %), Ламієві (3 %), Сікорієві (2 %). До 1 % зустрічаються Ранолюєві, *Filipendula*, Scrophulariєві та *Ephedra*. У спорах переважають Lycopodiєві (12-48 %) та Bryales (9-19 %). Також наявні Polypodiєві (до 2 %) та Equisetєві (до 1 %). Присутнє мікровугілля.

Підстадія kd_{1a2} характеризується спектром *сухого хвойного лісу*, а саме AP 46-54 %, NAP 21-33 %, спори 14-26 % зі значним домінуванням *Pinus sylvestris* (20-44 %) та *Betula* (5-15 %). З деревних порід наявні *Picea* (до 4 %) та *Alnus* (2 %). З'являються і шикоролістяні деревні породи: *Tilia* (до 4 %), *Ulmus* (1-2 %) та *Quercus* (до 1 %). З чагарників та напівчагарників присутні паліноморфи Ericєві, Malєєві, Rhamnєєві до 1 % від загальної кількості паліноморф та спор. Незважаючи на хвойний ліс, трав'яна рослинність є доволі різноманітною: Суревцеві (6 %), Ламієві (4-8 %), Астерцеві (3-6 %), Роосеві (до 3 %), Сікорієві (3-4 %). До 1 % трапляється *Phragmites*, Dipsacєві, Plantaginєві, Ранолюєві, Scrophulariєві. Більш того, наявний ксерофіт – *Ephedra* (до 2 %). Щодо спор, то тут можна відмітити представників родин Lycopodiєві (10-24 %) та Polypodiєві (2-5 %), а також порядку Bryales (3-7 %). Значно менше зустрічається Filicales – до 1 %. Присутнє мікровугілля та залишки Diatomeєві.

Підстадія kd_{1a3} є найбільшою хронологічно і стратиграфічно. Представлена переважно *лісовим спектром мішаних лісів*: AP 35-56 %, NAP 21-44 %, спори 18-27 %, широколистяні породи – 8-13 % від усіх паліноформ. Серед деревних порід зустрічаються *Pinus sylvestris* (до 30 %), *Betula* (до 10 %), *Alnus* (до 9 %) та *Picea* (до 1 %). Особливо слід виділити підвищення частки широколистяних порід – *Ulmus* (до 11 %) та *Quercus* (до 7 %). Чагарники представлені Caprifoliєві (до 3 %), *Corylus* і Malєєві (до 2 %), Rhamnєєві (до 1 %).

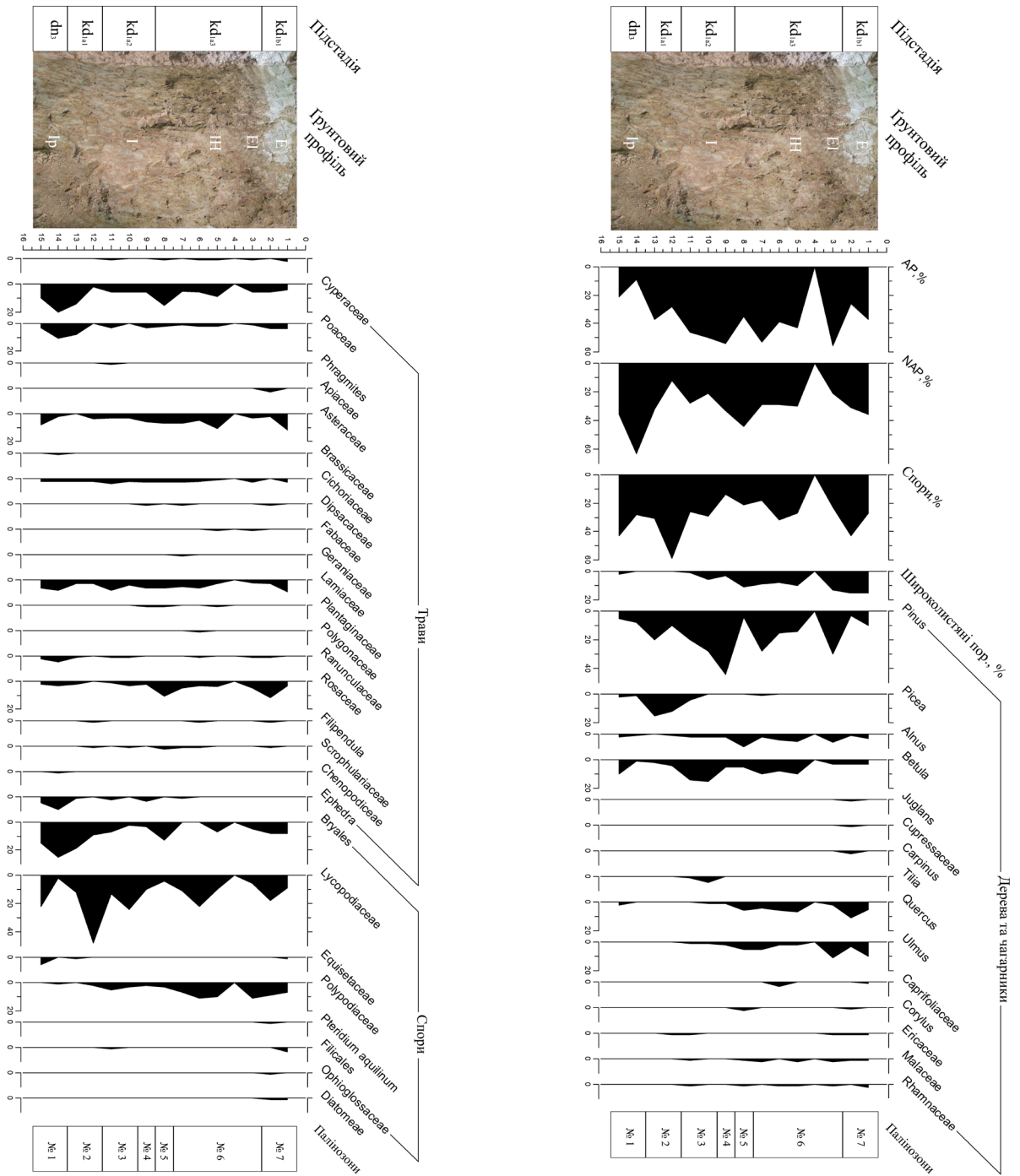


Рис. 2. Стороро-пилькова діаграма відкриттів з розриву Ясени-2 (околиці с. В'язівка, Лубенський район, Полтавська область).
 Fig. 2. Pollen diagram of the Yaseny-2 palaeosol section (the outskirts of the Vyzivok village, Lubyh district, Poltava region).

З трав знов виділяються представники родин Сурегасеае (до 15 %), Астерасеае (до 11 %) та Ламіасеае (до 6 %). Зустрічаються представники Сіхоріасеае (до 3 %), Роасеае та Ссрорхуларіасеае (до 2 %). До 1 % представлені Діпсасеае, Фабасеае, Гераніасеае, Рлантагінасеае, Ролігонасеае, Ранункуласеае, *Filipendula* та *Ephedra*. Спори знов представлені родинами Лусородіасеае (до 22 %) та Роліподіасеае (до 11 %), а також порядку Бруалес (до 13 %). Наявні спори грибів та прориди рослин. Ясени-10 характеризуються наявністю часточок мікровугілля.

Підстадія kd_{1b1} містить найбільшу кількість пилку широколистяних поряд (15 %), хоча і характеризується лісостеповим спектром: АР 26-37 %, NAR 31-36 %, спори 27-43 %. Вперше частка пилку *Pinus sylvestris* зменшується, складає 3-10 %. *Alnus* займає 1-3 %, а *Betula* – 3 %. Найбільшу увагу заслуговують широколистяні деревні породи – *Quercus* (5-11 %) та *Ulmus* (3-10 %). Маркуючим є поява *Carpinus* (до 2 %). Більш того, часткою до 1 % знайдені представники роду *Juglans* та родини Суресасеае. З чагарників наявні Рхамнасеае (до 2 %) та до 1 % представники Сарпифоліасеае, *Corylus*, Еріасеае, Маласеае. У травах збільшується вага родин Астерасеае (2-12 %) та Ламіасеае (3-9 %). Зустрічаються представники Сурегасеае (4-6 %), Роасеае (4 %), Аріасеае (до 3 %) і Сіхоріасеае (до 3 %). До 1 % представлені Діпсасеае, Ранункуласеае, *Filipendula*, Ссрорхуларіасеае. Спори позначилися більшим різноманіттям: Лусородіасеае (9-18 %), Роліподіасеае (7-9 %), Бруалес (8 %), Філікалес (до 3 %) та Еквісетасеае, а також *Pteridium aquilinum*, Орфіоглосасеае, водорості Діатомеае – до 1 %. Присутні часточки мікровугілля, залишки водоростей та перевідкладеного пилку *Pinus sylvestris*.

У відкладах кінця дніпровського та початку кайдацького часу нами встановлено закономірну пилкову суцесію останнього міжзледеніння та виділено 7 паліозон: степової зони (паліозона (ПЗ) № 1); зони ялини (ПЗ № 2); берези (ПЗ № 3, Ясени-5 та Ясени-6); сосни (ПЗ № 4, Ясени-7); вільхи, дубу та в'язу (ПЗ № 5, Ясени-8); сосни, дубу та в'язу (ПЗ № 6, Ясени 9-13); дубу, в'язу з появою грабу (ПЗ № 7).

Під час кінця стадіалу (паліозона № 1, dn_3) досліджувану територію займав холодний степ зі значною кількістю різнотрав'я у ньому (злакові, губоцвіті, складноцвіті, жовтцеві, розові), проте м'якіший мікроклімат дна балки сприяв росту рослин з родини осокових. Впродовж першої фази початкової стадії міжзледеніння (паліозона № 2, kd_{1a1}) на території скульско-удайського межиріччя зростали бореальні ліси. Значний відсоток пилку осокових та спор пов'язується із більш вологими умовами балки та, вірогідно, високим рівнем ґрунтових вод у неї. Фаза берези другої фази початкової стадії міжзледеніння (паліозона № 3, kd_{1a2} , Ясени-5 та Ясени-6) характеризується світлим сосново-березовим деревостаном. Зменшення частки ялини свідчить про зменшення зволоження та зростання континентальності бореального клімату. Під час фази сосни другої фази початкової стадії міжзледеніння

(паліозона № 4, kd_{1a2} , Ясени-7) продовжилось збільшення континентальності клімату, балка була вкритою сосновим бором. Фаза вільхи, дубу та в'язу (паліозона № 5, kd_{1a3} , Ясени-8) є перехідною від початкової стадії міжзледеніння до оптимуму із підвищенням зволоження. Про це свідчить значне зменшення кількості пилку сосни та наявність пилку дуба і в'язу. Ймовірно, сосновий бор межиріччя замістився широколистяним лісом із дубу, в'язу та ліщини (супутник широколистяних порід) у підліску. Ближче до дна балки зростали гігрофіти родини осокових та роду вільхових. Фаза сосни, дубу та в'язу (паліозона № 6, kd_{1a3} , Ясени-9-13) також є перехідною від початкової стадії до оптимуму, але із зменшенням зволоження. Сосна і береза знов займають межиріччя, а шикоролістяні породи спускаються на більш гіпсометрично нижчі рівні, тобто в місця більш м'якшого мікроклімату. Перший кліматичний оптимум міжзледеніння (термоксеротичний) (паліозона № 7, kd_{1b1}) позначився значним поширення широколистяних лісів з дубу і в'язу. Фіксується поява високомезофільних рослин (грабу) та термофільних (горіху). Водночас фіксується степове різнотрав'я, представлене родинами айстрових, губоцвітих, злакових, зонтикових та цикорієвих (латукових). Клімат був вологішим та більш теплішим за сучасний.

Наступним кроком дослідження було співвіднесення викопних ґрунтів розрізу із підстадіями етапів на основі проведеного з них же спорово-пилкового аналізу. Так, лесоподібні суглинки dn_3 представлені ілювіювано-перехідним горизонтом кайдацького ґрунту; охристо-залістий глейовий ґрунт kd_{1a1} (перша фаза початку міжзледеніння) входить до складу ілювіюваного горизонту, як і лесові прошарки kd_{1a2} (друга фаза); перехідна фаза kd_{1a3} до оптимуму представлена ілювіальним, гумусово-ілювіюваним та ілювіально-ілювіальним горизонтами ґрунту; а фаза kd_{1b1} є ілювіальним горизонтом ясно-сірого опідзоленого глеюватого ґрунту (рис. 3).

Наступним етапом стало проведення кореляцій між початками обох міжзледенінь.

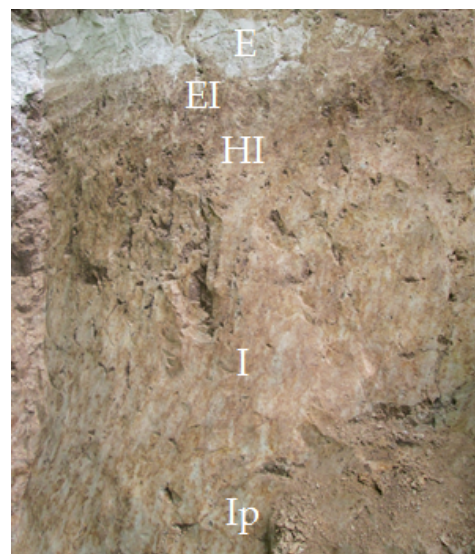


Рис. 3. Ґрунтовий профіль розрізу Ясени-2.
Fig. 3. The soil profile of the Yaseni-2 section.

Стоянка Зимівниківської культури вміщує голоценові відклади потужністю 0,8 м. Із послідовності нашарувань стоянки нам цікавий III шар початку голоцену – похований лісовий або лучно-лісовий ґрунт (по краю підвищення стоянки переходить до лучного) – темно-бурий важкий суглинок стовпчастої структури потужністю до 0,4 м, блідий на схилі стоянки від значної завапнованості. У його покрівлі виявлено знахідки пізнього (ямково-гребінцева кераміка) та раннього (дніпро-донецька культура) неоліту, нижче яких залягають мезолітичні матеріали. Нижче третього шару розташований сірувато-світло-бурий лесоподібний причорноморський суглинок, місцями з вапняковими включеннями (Навуленко, 2000).

Варто зазначити, що ґрунт, у якому залягав культурний шар доби мезоліту, в цілому сформувався як ясно-сірий опідзолений (за визначенням Ж. М. Матвіїшиної). Він є достатньо озалізненим та оглиненим, що свідчить про розвинуті процеси звітрювання. Збереглися також ознаки підвищеного гідроморфізму і соліфлюкційних процесів. Тож кінцеве утворення ґрунту, певно, відбувалося під листяним лісом в умовах теплої і вологої клімату раннього голоцену (Навуленко, 2000). Тобто, ми можемо цей ґрунт археологічної пам'ятки зіставити із ясно-сірим опідзоленим глеуватим ґрунтом kd_{1a1} , котрий також був сформований в подібних кліматичних умовах, що засвідчують дані споро-пилкового аналізу.

Комплекси стоянок В'язівки 4а було датовані серединою пребореалу, а Сабівки та Зимівників 1/3 – пребореалом-бореалом, Зимівників 1/2 – з кінця бореалу до початку атлантики – нижня межа датування стоянки. Культурний шар Сабівки (бурий суглинок, I горизонт) залягав на межі причорноморського лесу та викопного ґрунту, а Зимівників 1/3 в покрівлі карбонатного бурого суглинка пізньопричорноморського часу. Паліноспектри характеризуються появою широколистяної рослинності, але із домінуванням сосни та берези. Щодо верхньої межі стоянки, то вона сягає принаймні пізнього дріасу, в якому у цій місцевості (Навуленко, 2000) переважав сухий, різко континентальний та холодний клімат. Тобто, умови пізнього дріасу були подібними до умов kd_{1a2} за даними із наших досліджень; відповідно, умови стоянок Сабівки та Зимівників 1/3 ми можемо співвіднести з умовами, що були впродовж kd_{1a3} .

З іншого боку хронологічного ряду та знаючи те, що алеред характеризується значним поширенням роду *Picea* (Gerasimenko, 2004), ми можемо стверджувати, що kd_{1a1} корелюється з белінгом, середнім дріасом та алередом.

На стоянці Гінці початок останнього міжзледеніння фіксується лесовими покривами з ознаками соліфлюкційних явищ. Палеосередовище було реконструйовано за рахунок залишків ссавців, мишоподібних, молюсків (малакофауна) та за допомогою даних спорово-пилкового аналізу із шару, що відповідає причорноморському часу (підстадія pc_1). Встановлено, що, починаючи з верхнього пленігляціалу, клімат

був холодним та сухим; домінували відкриті ландшафти холодного степу із невеликою часткою холодолюбних деревних порід та родини Ericaceae (Iakovleva et al., 2018). Враховуючі дані з IV шару стоянки Зимівниківської культури, ми можемо співставити умови pc_1 із dn_3 .

Результатом кореляції постала звідна таблиця (табл. 1).

Таблиця 1. Кореляції рослинності та ґрунтів початку передостаннього та останнього міжзледеніння.

Table 1. The vegetation and soils correlations at the beginning of the Last Interglacial and the Holocene.

Початок передостаннього міжзледеніння	Початок останнього міжзледеніння
dn_3 лесоподібні суглинки; холодний степ (різнотрав'я: злаки, осоки, складноцвіті та губоцвіті)	Початок причорноморського часу лесоподібні суглинки; холодний степ із невеликою часткою холодолюбних деревних порід та родини Ericaceae
kd_{1a1} охристо-залізистий глейовий ґрунт; бореальні ліси, значне поширення ялини	Белінг, середній дріас, алеред охристо-залізистий глейовий ґрунт
kd_{1a2} лесові прошарки; сухий бореальний клімат (березово-сосновий ліс)	Пізній дріас сухий та різко континентальний клімат, морозобійні жили
kd_{1a3} горизонти E1, H1 та I ясно-сірого ґрунту; мішаний ліс (поява широколистяної флори із домінуванням сосни та берези)	Пребореал та бореал бурий суглинок і горизонт сірого опідзоленого ґрунту; поява широколистяної флори, домінування сосни та берези
kd_{1a1} E горизонт ясно-сірого опідзоленого глеуватого ґрунту; теплий та вологий клімат (широколистяний ліс)	Початок атлантики ясно-сірий опідзолений ґрунт під листяним лісом (теплі та вологі умови)


4. Висновки


Проведені нами дослідження виявили кореляцію палеогеографічних умов початку останнього і передостаннього міжзледеніння на межиріччі Удаю та Сліпороду (басейн середньої течії р. Сули): 1) dn_3 має аналогом підстапу pc_1 ; 2) kd_{1a1} співвідноситься з белінгом, середнім дріасом та з алередом (через значне поширення ялини); kd_{1a2} пов'язується з пізнім дріасом (однак, фіксується нетипове збільшення лісистості на досліджуваній території у останньому міжзледенінні, що може бути пов'язаним із локальними умовами балки); kd_{1a3} має за аналог пребореал та бореал (сосново-березові ліси з появою широколистяних порід на підзолистих ґрунтах); kd_{1a1} співвідноситься з початком атлантики (поширення широколистяних лісів на повністю сформованих ясно-сірих опідзолених глеуватих ґрунтах).

Отже, є підстави вбачати закономірність у розвитку довкілля на початку передостаннього і останнього міжзледеніння. Наступним логічним завданням має бути простеження цієї закономірності до кінця передостаннього

міжзледеніння з одночасним знаходженням підстадії-аналогу сучасного етапу розвитку рослинності у передостанньому міжзледенінні. Це дозволить виявити зміни, які привнесла до перебігу ландшафтно-кліматичних подій діяльність людини.

ORCID iD

Illia Kravchuk  <https://orcid.org/0000-0001-5247-7255>

Natalia Gerasimenko  <https://orcid.org/0000-0001-9278-5770>

Список посилань

Box, E. O. (1981). *Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modelling in phytogeography*. (In English). <https://doi.org/10.1007/978-94-009-8680-0>

Box, E. O. (1996). Plant functional types and climate at the global scale. *Journal Vegetation Science*, Vol. 7, No. 3, P. 309-320. (In English). <https://doi.org/10.2307/3236274>

Gerasimenko, N. P. (2004). Rozvytok zonalnykh landshaftiv chetvertynnoho periodu na terytorii Ukrainy [*Zonal landscapes development of the Quaternary period on the Ukraine's territory*], 504 p. (In Ukrainian).

Gerasimenko, N. P. (2006). Upper Pleistocene loess-palaeosol and vegetational successions in the Middle Dnieper Area, Ukraine. *Quaternary International*, Vol. 149, Issue 1, P. 55-66. (In English). <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.018>

Grichuk, V. P. (1985). Rekonstruktsiya skalyarnykh klimaticheskih pokazateley po floristicheskim materialam i otsenka ee tochnosti [Reconstruction of scalar climatic indicators for floristic materials and its accuracy assessment]. *Paleoclimate reconstruction methods*, P. 20-28. (In Russian).

Havrylenko, I. M. (2000). Zymivnykivska arkeoholichna kultura (do istorii rannomezolitychnoho naseleння Livoberezhnoi Ukrainy) [*Zymivnykivska archaeological culture (to the history of the early Mesolithic population of Left-Bank Ukraine)*], 128 p. (In Ukrainian).

Iakovleva, L., Djindjian, F., Moigne, A.-M., Mashenko, E., Konik, St., Matviichina, J., Gregoire, S., Sapojnikova, G. (2018). Gontsy (Ukraine), a settlement with mammoth bone dwellings of the late upper palaeolithic in Eastern Europe. *The Journal of the International Union for Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Vol. 1-1, P. 42-61 (In French). <https://doi.org/10.62526/NBLWZ6>

Mirkin, B. M., Naumova, L. G. (1998). Nauka o rastitelnosti (istoriya i sovremennoe sostoyanie osnovnykh kontseptsiy) [*The vegetation science (the history of the main concepts)*], 410 p. (In Russian).

Визначення розміру шкоди, завданої землі і ґрунтам України воєнними діями: методики розрахунку та актуальні питання

Оксана Підкова 

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

Реферат

Метою публікації є огляд документів нормативно-правової бази України, у яких розглядаються питання визначення шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок збройної агресії російської федерації, виділення актуальних питань теоретико-методичного і практичного характеру, пов'язаних із визначенням такої шкоди. Розглянуто воєнну деградацію ґрунтів як сукупність деградаційних процесів, які розвиваються у ґрунтах внаслідок воєнних дій. Сумарно з іншими типами деградації воєнна деградація погіршує сучасний екологічний стан ґрунтів і ґрунтового покриву держави. Детально розглянуто методики визначення розміру шкоди, завданої ґрунтам і землям (Наказ № 197) і земельному фонду (Наказ № 295) внаслідок збройної агресії російської федерації. За Наказом № 197 оцінюється шкода, завдана ґрунтам і земельним ділянкам внаслідок забруднення ґрунтів речовинами, які негативно впливають на їх родючість та інші корисні властивості, засмічення земельних ділянок сторонніми предметами, матеріалами, відходами й іншими речовинами. За Наказом № 295 оцінюються витрати на рекультивацию порушених земель, збитків, завданих власникам (землекористувачам) земельних ділянок сільськогосподарського призначення, витрат на відновлення меліоративних систем. Визначення шкоди, завданої ґрунтам і землям України внаслідок воєнних дій, є комплексним питанням, виходить за межі розроблених методик розрахунку розмірів шкоди. Розглянуто актуальні питання великомасштабних ґрунтових обстежень, бонітування, моніторингу ґрунтів, підготовки фахівців у галузі ґрунтознавства, управління земельними ресурсами, природокористування у контексті сучасних викликів, спричинених впливом воєнних дій на ґрунтово-земельний фонд держави, важливість їхнього вирішення для встановлення і визначення розміру шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій, розроблення рекомендацій щодо їх рекультивации і післявоєнного відновлення.

Ключові слова

Вплив воєнних дій на ґрунти, деградаційні процеси ґрунтів, воєнна деградація ґрунтів, екологічний стан ґрунтів

Надійшла до редакції: 1 червня 2024 / Прийнята: 18 червня 2024 / Опублікована онлайн: 25 червня 2024

Determination of the amount of damage caused to the land and soils of Ukraine by military actions: calculation methods and current issues

Oksana Pidkova

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

Abstract

The purpose of the publication is to review the documents of the regulatory framework of Ukraine that address the issues of determining the damage caused to soils and land as a result of the armed aggression of the Russian Federation, and to highlight the topical issues of theoretical, methodological and practical nature related to the determination of such damage. The article considers military soil degradation as a set of degradation processes that develop in soils as a result of military actions. Together with other types of degradation, military degradation worsens the current ecological state of soils and soil cover of the state. The article discusses in detail the methods of determining the amount of damage caused to soils and lands (Order No. 197) and the land fund (Order No. 295) as a result of the armed aggression of the Russian Federation. Order No. 197 assesses the damage caused to soils and land plots as a result of soil contamination with substances that adversely affect their fertility and other useful properties, and contamination of land plots with foreign objects, materials, waste and other substances. Order No. 295 assesses the costs of reclamation of disturbed land, damages incurred by owners (land users) of agricultural land plots, and the costs of restoring reclamation systems. Determining the damage caused to the soils and lands of Ukraine as a result of military actions is a complex issue that goes beyond the developed methods of calculating the amount of damage. The article considers topical issues of large-scale soil surveys, soil grading, soil monitoring, training of specialists in the field of soil science, land management, and nature management in the context of modern challenges caused by the impact of military operations on the soil and land fund of the state, the importance of resolving above mentioned issues for establishing and determining the amount of damage caused to soils and lands as a result of military operations, and developing recommendations for their reclamation and post-war restoration.

Keywords

Impact of military operations on soils, soil degradation processes, military soil degradation, ecological state of the soil

Received: 1 June 2023 / Accepted: 18 June 2024 / Published online: 25 June 2024

Corresponding author:

Oksana Pidkova, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St, Kyiv, 01601, Ukraine
Email: oks_pidkova@ukr.net

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Вступ

Ґрунт є основою біологічної продуктивності, це одна з найважливіших серед чисельних екологічних функцій ґрунту. Як зазначено у праці (Ivaniuk, 2009), до 95% усіх продуктів харчування людство одержує завдяки ґрунту. Біологічна продуктивність поряд із якістю продукції є основним показником стійкості ґрунту.

Згідно концептуальної моделі екологічного ланцюга якості життя і здоров'я людини Фурдичка (2010), саме екологічний стан ґрунтів (рівень його родючості, забруднення, еродованості тощо) лежить в основі двох базових складових (екологічної вертикалі сільськогосподарського виробництва, шляху «від лану до столу» – перша і екологічного стану довкілля – друга), що визначають рівень якості життя і здоров'я як окремої людини, так і суспільства загалом, покращення їх стандартів. Іншими словами, забезпечення екологічної безпеки в аграрному виробництві є запорукою високих стандартів якості життя і здоров'я громадян України (Furdychko, Drebot et al., 2022).

Сучасне використання ґрунтів в Україні не завжди відповідає вимогам раціонального і екологобезпечного природокористування, відображає суперечності між загальнодержавними інтересами збереження якості ґрунтових ресурсів країни та приватними інтересами одержання швидкого прибутку від господарської діяльності. Як наслідок, відбувається інтенсифікація деградаційних процесів ґрунтів. На думку Позняка і Гавриш (2021), деградація українських ґрунтів досягла уже таких масштабів, що становить загрозу національній безпеці країни.

Станом на 2021-ий рік, площа деградованих і малородючих ґрунтів становила більше 8 млн. га, а прямі щорічні втрати доходу лише від недобору врожаю через основні види деградації ґрунтів сягали в Україні близько 33,6 млрд. грн. (Baliuk et al., 2021). Унаслідок поширення деградації ґрунтовий потенціал виробництва зерна в Україні, який становить 80-100 млн. т, реалізується лише на 70% (Pozniak, Navrysh, 2021). Це впливає на продовольчу безпеку нашої країни і світу (Україна – гарант продовольчої безпеки у глобальному вимірі), позбавляє нас вагомого джерела доходів від експорту сільськогосподарської продукції. За даними Державної митної служби України, станом на 2021 р. Україна займала перше місце у світі за експортом соняшникової олії (46% від світового експорту продукції), соняшникового шроту (45%), проса (37%), третє – за експортом ячменю (13%), кукурудзи (13%), ріпаку (10%), п'яте – за експортом пшениці (10%), меду (8%), шосте – за експортом сої (1% відповідно) (*Mistke Ukrainy u svitovomu ahroeksporti...*).

У реаліях сьогодення до основних деградаційних процесів ґрунтів України (втрати гумусу, елементів живлення, ерозії, підкислення, руйнування структури, спрацювання торфовищ, забруднення та ін.) додається негативний вплив воєнних дій на ґрунти і ґрунтовий покрив.

2. Матеріали і методи

У процесі дослідження використано загальнонаукові методи пізнання – аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, абстрагування. Матеріалами дослідження стали документи нормативно-правової бази України, у яких прямо чи опосередковано розглядаються питання визначення шкоди, завданої ґрунтам, землям, земельному фонду внаслідок воєнних дій, а також вітчизняні публікації, присвячені розгляду впливу збройної агресії російської федерації на ґрунти і землі нашої держави.

3. Обговорення

Повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну призвело до колосальних економічних збитків, жахливих людських втрат, значних руйнувань гуманітарної сфери, інфраструктури, завдає серйозної шкоди довкіллю. І якщо економічні втрати поррахувати відносно легко, то оцінити наслідки негативного впливу війни на окремі компоненти навколишнього середовища чи на довкілля загалом є вкрай складно. Після завершення війни Україна на багато років наперед, навіть десятиліть буде мати негативну екологічну «спадщину». Це потребує розроблення стратегії післявоєнного відновлення довкілля, спираючись на фундаментальні принципи сталого розвитку.

Під час війни ґрунт як компонент довкілля є залученим до воєнних дій, причому спектр залучення надзвичайно широкий – від активного, коли ґрунт і ґрунтовий покрив виступає у ролі плацдарму, «фундаменту» бойових дій (безпосередній полігон, місце битв, зведення фортифікаційних споруд тощо), «дорожнього покриття» (пересування техніки), до пасивної співучасті (вирви від обстрілів, вигорання внаслідок пожеж, хімічне забруднення, спричинене застосуванням зброї, вибухами, розливом паливно-мастильних матеріалів, механічним забрудненням уламками боєприпасів, техніки, мінуванням територій тощо).

Тривалість повномасштабної війни російської федерації проти України, значні деградаційні процеси ґрунтів, поява і розвиток яких спричинені воєнними діями, на нашу думку (Pidkova, 2023), зумовили потребу виділення воєнної деградації як окремого типу деградації ґрунтів нашої держави.

Розглядаючи вплив воєнних дій на ґрунти і ґрунтовий покрив, виділяємо наступні види деградації ґрунтів (рис. 1).

До кожного з видів воєнної деградації ґрунтів входять також деградаційні процеси, які розвиваються чи можуть бути розвинуті в ґрунтах і в мирний час. Однак віднесення їх до певного виду воєнної деградації зумовлено власне воєнними причинами їх виникнення і розвитку у ґрунтах (бойові дії, ракетні обстріли, зведення фортифікацій тощо). Такими деградаційними процесами у кожному з видів воєнної деградації ґрунтів є наступні:

– *фізична* (у тому числі й механічна) деградація – переуцільнення ґрунту, кіркоутворення, замулення, зміна

структурно-агрегатного стану, переритість і зміна будови ґрунтового профілю, руйнування структури ґрунтового покриву та ін.;

– *водно-фізична* – зниження водопроникності, порушення водопідйомної здатності, зміна рівня ґрунтових вод та ін.;

– *фізико-хімічна* – підкислення, підлуження, засолення та ін.;

– *ерозійна* – втрата верхнього шару ґрунту, лінійна і площинна водна ерозія, пониження рівня денної поверхні та ін.;

– *біологічна* – дефлорація, знищення біорізноманіття ґрунту, зміна структури біопедоценозу, розвиток патогенних організмів, ґрунтовий токсикоз та ін.;

– *пірогенна* – вигорання рослинності, ґрунтової біоти, органогенних горизонтів, органічних речовин та ін.;

– *забруднення продуктами техногенезу* – забруднення важкими металами, радіонуклідами, паливними матеріалами, уламками техніки, зброї та ін.

Аналогічної думки (Baliuk et al., 2024), вони виділяють мілітарну деградацію як новий тип деградації ґрунтів – деградацію, спричинену збройною агресією (воєнний тип), що включає в себе такі види: 1) механічна деградація, 2) фізична, 3) хімічна, 4) фізико-

хімічна, 5) біологічна, 6) інші напрями впливу на ґрунти та земельні ділянки.

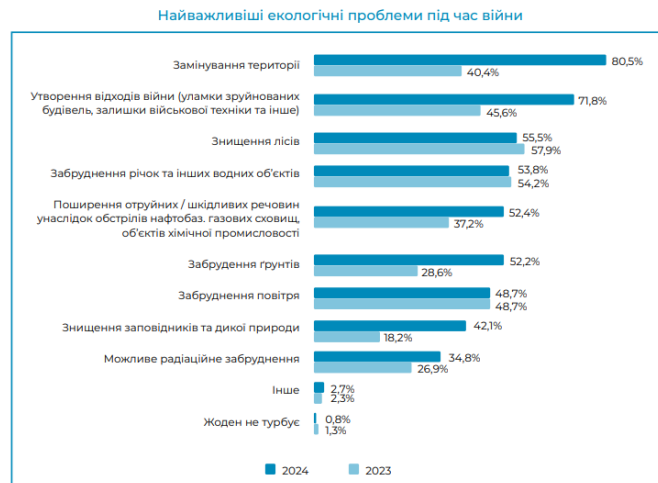
Станом на квітень 2024-го року, сума завданих довікіллю збитків унаслідок війни перевищувала 2,4 трлн. грн. Якщо ввести у розрахунок шкоди оцінку втрат від неотриманих екосистемних послуг, то ця сума суттєво зросте (*Zavdana dovkilliu shkoda...*).

За результатами всеукраїнського соціологічного опитування (*Ukraina maibutnioho...*), українці розуміють важливість екологічних проблем під час війни. На початок 2024-го р. забруднення ґрунтів внаслідок воєнних дій вважали серйозною екологічною проблемою більше половини опитаних (52,2%), що майже вдвічі зросло у порівнянні з аналогічними даними за минулий 2023-ій р. (рис. 2). Якщо взяти до уваги проблему замінованих територій і забруднення територій залишками військової техніки, то абсолютна більшість респондентів усвідомлює негативний вплив воєнних дій на ґрунти, ґрунтові і земельні ресурси і потребу їх вирішення.

Що ж включає шкода, завдана ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій? За якими показниками вона оцінюється? Хто уповноважений визначати таку шкоду? Що лежить в основі визначення її розміру (у грошовому еквіваленті)? Нижче наведено документи нормативно-правової бази, у яких розглядаються і регулюються



Рис. 1. Види воєнної деградації ґрунтів.
Fig. 1. Types of military soil degradation.



Джерело: всеукраїнське соціологічне опитування, 2023, 2024, соціологічна агенція ФАМА.

Рис. 2. Основні екологічні проблеми під час війни.
Fig. 2. The main environmental problems during the war.

питання визначення шкоди, завданої ґрунтам і землям України внаслідок збройної агресії російської федерації.

До законодавства, що прямо чи опосередковано регулює питання визначення шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій, та її розміру, відносимо:

– Постанову Кабінету Міністрів України від 19 квітня 1993 р. № 284 «Про Порядок визначення та відшкодування збитків власникам землі та землекористувачам» (Постанова № 284) (*Pro poriadok vyznachennia...*);

– Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 року № 2768-III (*Zemelnyi kodeks...*);

– Постанову Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 року № 1325 «Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин» (Постанова № 1325) (*Pro zatverdzhennia normatyviv...*);

– Правила розроблення робочих проектів землеустрою, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 02 лютого 2022 року № 86 (*Pro zatverdzhennia Pravyl rozroblennia...*);

– Постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації» від 20 березня 2022 року № 326 (Постанова № 326) (*Pro zatverdzhennia Poriadku vyznachennia shkody...*);

– Методику визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану, затвердженої наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 04 квітня 2022 року № 167 (Наказ № 167) (*Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia rozmiru...*);

– Методику визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації, затверджена Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 18 травня 2022 року № 295 (Наказ № 295) (*Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia shkody...*).

Ключовими у питанні визначення шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок війни, є два останні документи.

Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час воєнного стану (Наказ № 167) (далі – «Методика...») визначає порядок розрахунку розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам державами, органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання та фізичними особами через забруднення ґрунтів, засмічення земель, допущених унаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час воєнного стану внаслідок їх дій або бездіяльності на усіх землях України незалежно від їх категорій та форм власності.

«Методика...» надає наступні визначення термінів:

– *забруднення ґрунтів* – накопичення в ґрунтах речовин, які негативно впливають на їх родючість та інші корисні властивості;

– *засмічення земель* – наявність на земельній ділянці сторонніх предметів, матеріалів, відходів та/або інших речовин без відповідних дозволів.

Ґрунти вважаються *забрудненими*, за умови якщо в їх складі виявлені негативні якісні зміни. При цьому зміни можуть бути зумовлені не тільки появою в зоні аерації нових забруднюючих речовин, яких раніше не було, а і вмістом небезпечних речовин, що перевищує їх гранично допустиму концентрацію.

Землі вважаються *засміченими*, якщо на земельній ділянці наявні сторонні предмети, матеріали, відходи та/або інші речовини без відповідних дозволів, які з'явилися на цій земельній ділянці внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій.

Факти забруднення ґрунтів та/або засмічення земель, а також їх масштаби, встановлюються уповноваженими особами, які здійснюють у межах повноважень, передбачених законом, державний нагляд (контроль) за додержанням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища, зокрема, шляхом огляду земельних ділянок, даних дистанційного зондування Землі, досліджень отриманих зразків проб ґрунтів, опрацювань висновків будь-яких експертиз, пояснень, довідок, документів, матеріалів, відомостей, отриманих, зокрема, з будь-яких джерел, оперативних повідомлень фізичних та юридичних осіб тощо.

Визначення обсягу забруднення ґрунтів у кожному випадку є самостійним завданням через різноманітність геоморфологічних, геологічних та гідрологічних умов. За наявності інформації про кількість (об'єм, маса) забруднюючої речовини, яка проникла у певний шар ґрунту, визначаються площа і глибина просочування.

У випадках, коли обсяг забруднення не може бути визначено шляхом огляду земельних ділянок, наприклад, через мінування територій чи активні бойові дії, визначення обсягу забруднення ґрунтів здійснюється із застосуванням інструментально-лабораторного контролю, а у разі необхідності – із залученням спеціалізованих організацій та на основі інших наявних матеріалів, включаючи дані дистанційного зондування Землі.

Розмір шкоди обчислюється уповноваженими особами, що здійснюють державний нагляд (контроль) за додержанням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища. Основою розрахунків розміру шкоди від забруднення ґрунтів є нормативна грошова оцінка земельної ділянки, ґрунти якої зазнали забруднення.

Методика визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації (Наказ № 295), включає втрати земельного фонду, а також пов'язану з ними упущену вигоду.

Відповідальними за визначення шкоди та збитків за наведеним напрямом є обласні і Київська міська державні

адміністрації (на період воєнного стану – військовій адміністрації).

Інформаційною базою для визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії російської федерації, є акти обстеження земельних ділянок, акти комісії із визначення збитків власників землі та землекористувачів, звіти про експертну грошову оцінку земельних ділянок, первинні документи, облікові реєстри, бухгалтерська та інша звітність, що ґрунтується на даних бухгалтерського обліку підприємств, установ та організацій, проектно-кошторисна документація, відомості Державного земельного кадастру, документація із землеустрою, дані дистанційного зондування Землі та інші документально підтвержені відомості.

Витрати власників землі та землекористувачів на рекультивацію земель, які були порушені внаслідок бойових дій, будівництва, облаштування та утримання інженерно-технічних і фортифікаційних споруд, огорож, прикордонних знаків, прикордонних просік, комунікацій для облаштування державного кордону, визначаються на підставі кошторисної вартості запроєктованих робіт відповідних реалізованих робочих проектів землеустрою щодо рекультивації порушених земель, які розроблені у відповідності до Правил розроблення робочих проектів землеустрою, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 02 лютого 2022 р. № 86.

Розмір завданих збитків власникам (землекористувачам) земельних ділянок сільськогосподарського призначення, в тому числі із урахуванням фактично понесених витрат на приведення земельних ділянок у придатний для використання стан, визначається відповідно до Порядку визначення та відшкодування збитків власникам землі та землекористувачам, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 квітня 1993 р. № 284.

Витрати на відновлення меліоративних площ включають витрати на відновлення меліорованих земель, водогосподарсько-меліоративних систем, об'єктів інженерної інфраструктури зрошувальних і осушувальних систем, дренажної інфраструктури, об'єктів сільськогосподарського водопостачання та водовідведення, які були порушені та/або зруйновані внаслідок бойових дій, визначаються на підставі кошторисної вартості робіт у відповідних проектах реконструкції та капітального ремонту меліоративних систем та/або окремих об'єктів інженерної інфраструктури, що розроблені у відповідності до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди», затверджених наказом Держбуду України від 25 червня 1999 р. № 153 (*Melioratyvni systemy...*).

Визначаючи шкоду, завдану ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій, потрібно насамперед визначати чим саме забруднено ґрунти (наприклад, важкими металами чи паливно-мастильними матеріалами), адже від виду забруднювача і його кількості буде залежати ступінь забруднення ґрунтів, вплив забруднюючих речовин на ґрунтові компоненти, ґрунтову екосистему, агроекосистему і довкілля загалом, це впливатиме на наступне відновлення пошкоджених і порушених внаслідок воєнних дій ґрунтів і землі, визначатиме тип, напрямок, темпи

рекультиваційних заходів тощо. Не менш важливим при цьому є географічна локалізація місць дослідження, визначення, які саме ґрунти забруднені (хоча б на вищих таксономічних рівнях), адже поведінка важких металів чи паливно-мастильних матеріалів у ґрунтах буде значною мірою залежати від властивостей ґрунтів, насамперед від їхнього гранулометричного складу, вмісту гумусу у них, реакції ґрунтового розчину, величини і складу вбирного комплексу, буферності та ін. Іншими словами, при однаковій кількості надходження забруднюючих речовин у профіль ґрунту, їхня поведінка, накопичення чи міграція буде відмінною у різних ґрунтах.

Найбільш токсичними для ґрунту є забруднення важкими металами (хром, нікель, миш'як, цинк, кадмій, свинець та ін.), які залежно від властивостей ґрунтів можуть накопичуватись у них (із високим вмістом гумусу, суглинкових, глинистих ґрунтах), або виноситись за межі ґрунтових профілів (ґрунти, збіднені на гумус і органічну речовину, піщані ґрунти), мігрувати в ґрунтово-підґрунтові і поверхневі води. Накопичуючись у ґрунтах, важкі метали по харчових ланцюгах переходять до рослин і тварин, а далі – й до людини, можуть спричинювати захворювання живих організмів, у тому числі й людини. При забрудненні ґрунтів паливно-мастильними матеріалами відбувається як хімічне забруднення, так і погіршення водопроникності ґрунтів, надходження повітря у ґрунт і назад (погіршується аерація ґрунтів), мікробіологічні процеси у ґрунтах. Сумарно це погіршує водний, повітряний, поживний режими ґрунтів, надходження води і поживних речовин до коріння рослин, спричинюючи зниження їх продуктивності, а при значному забрудненні – і до загибелі.

Аналогічно при оцінці засмічення земель важливо встановити чим забруднені землі і у яких кількостях (масштаби забруднення). Але розмежування забруднення і засмічення ґрунтів і земель внаслідок бойових дій є досить умовним, оскільки найчастіше вони відбуваються паралельно. Розглянемо це на наступному прикладі.

Спектр наслідків від вибухів і артилерійських обстрілів для ґрунтів досить широкий. Насамперед це фізична зміна ґрунтів – від знищення верхнього родючого гумусового горизонту, зміни будови ґрунтового профілю, його переритості, седиментації (поховання) до зміни структури ґрунтового покриву, його трансформації, а при масивних щільних обстрілах і значних за розмірами вибухах від вибухів навіть до повного його руйнування, формування кратерів, «місячних ландшафтів» (рис. 3). При цьому ґрунти забруднюються як хімічними елементами, речовинами, що входять до складу боєприпасів, які при вибухах ще й окислюються, забруднюючи не лише ґрунти, а й повітря, але і через міграційні шляхи та інші компоненти довкілля, насамперед воду, так і механічно уламками від них. Вибухи можуть спричинювати пожежі, у результаті яких згорає рослинність, органічна речовина ґрунту, гинуть живі організми, знищується біорізноманіття ґрунтів.

Не менш важливим є визначення площ пошкоджених воєнними діями ґрунтів і земель, конкретизація видів пошкоджень з наступним картуванням їх (місця активних



Рис. 3. Вирви від обстрілів у с. Довгенькому Харківської області (фото – Maxar Technologies Inc.)
Fig. 3. Shelling craters in Dovhenke village, Kharkiv region (photo by Maxar Technologies Inc.)

бойових дій, поля масових обстрілів з вирвами, лінії оборони тощо), встановлення особливостей структури ґрунтового покриву таких територій. Це потребує перегляду підходів до картографування ґрунтів, зокрема великомасштабних, у окремих випадках – детальних ґрунтових обстежень, адаптування методик проведення польових ґрунтових знімачів відповідно до трансформацій, яких зазнали ґрунти під час війни (кількість і густина закладення ґрунтових розрізів, відбір зразків тощо). Проблема ґрунтової картографії в Україні полягає, з одного боку, у відсутності актуальних даних щодо стану ґрунтових ресурсів держави, адже останні великомасштабні обстеження ґрунтів на загальнодержавному рівні проводились більше 30-ти років тому, використовуються морально і фактологічно застарілі ґрунтові матеріали, а з іншого, що є ще більш актуальним, відсутні розроблені методики картографування ґрунтів і земель, пошкоджених воєнними діями, відсутні критерії оцінок, класифікації забруднення, засмічення, пошкодження ґрунтів саме внаслідок бойових дій. Детальніше ці питання розглянуто у публікаціях Лебідь (2022), Папіша та ін. (2023), Сплодитель та ін. (2023), Балюка та ін. (2024).

Визначення розміру шкоди, завданої ґрунтам і/чи землям внаслідок бойових дій, проводиться на основі грошової оцінки, для розрахунку якої використовуються дані якісної оцінки ґрунтів і земель. Ситуація щодо бонітування ґрунтів в Україні практично аналогічна ситуації, яка склалась у картографії ґрунтів, тобто відсутні актуальні дані про стан ґрунтів і земель через непроведення чергових обстежень ґрунтів (бонітування ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення повинно проводитись не рідше, ніж один раз у сім років). Остання бонітетна оцінка ґрунтів України проводилась у 1992-1993 рр., базуючись на попередніх етапах бонітування радянських часів. Закладаючи в основу розрахунку грошової оцінки ґрунтів неактуальні (застарілі) дані, одержуємо оцінку ґрунтів, що не відповідає їх сучасному стану, у тому числі й екологічному.

Слід згадати про особливості проведення моніторингу ґрунтів і земель, які зазнали впливу воєнних дій, потребу

коректування методик визначення певних показників (потужність гумусового горизонту, ґрунтового профілю, вміст гумусу, кислотність ґрунтового розчину, кількісний і якісний склад важких металів тощо) і їхню параметризацію на таких ґрунтах, розширення спектру визначення показників стану і якості ґрунтів, пошук нових еталонів, враховуючи вищезгадані види їх деградації (див. рис. 1), тощо. Особливо важливим після проведення рекультивацийних заходів на ґрунтах і землях деокупованих територій є спостереження за динамікою їх відновлення з метою удосконалення чи коректування відповідних заходів, зокрема для територій, які будуть деокуповані у майбутньому.

Не можна оминати увагою потребу у компетентних фахівцях (у тому числі й на рівні підготовки у закладах вищої освіти), які володіють інтегрованими знаннями в галузі природничих наук, зокрема у сфері ґрунтознавства, екології, управління земельними ресурсами, вміннями системно оцінювати просторові конфлікти та швидко реагувати на нові виклики. Особливо актуально це для нещодавно деокупованих і тимчасово окупованих російською федерацією українських територій, які після звільнення потрібно відновлювати, враховуючи весь спектр руйнувань, пошкоджень, забруднень, у тому числі й завданих ґрунтам і землям воєнними діями.

4. Висновки

Збройна агресія російської федерації проти України негативно впливає на ґрунти і ґрунтовий покрив. Усі види деградації ґрунтів як сукупність відповідних деградаційних процесів, поява і розвиток яких зумовлені власне збройною агресією, виокремлено у тип воєнної деградації ґрунтів.


Шкода, завдана ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій, оцінюється з урахуванням шкоди, завданої ґрунтам та земельним ділянкам внаслідок забруднення ґрунтів речовинами, які негативно впливають на їх родючість та інші корисні властивості; шкоди, завданої ґрунтам

та земельним ділянкам внаслідок засмічення земельних ділянок сторонніми предметами, матеріалами, відходами та/або іншими речовинами; витрат на рекультивуацію земель, які були порушені внаслідок бойових і пов'язаних з ними дій; збитків, завданих власникам (землекористувачам) земельних ділянок сільськогосподарського призначення; витрат на відновлення меліоративних систем.

Безпосереднє визначення розміру шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок військових дій, проводиться згідно розроблених і законодавчо закріплених відповідних методик, серед яких основними є Наказ № 167 і Наказ № 295. Відповідальними за визначення шкоди і збитків ґрунтам і землям внаслідок бойових дій є Державна екологічна інспекція, земельному фонду – обласні, Київська міська державні адміністрації, а на період воєнного стану – військові адміністрації.

Визначення шкоди ґрунтам і землям внаслідок збройної агресії російської федерації є комплексним питанням, яке потрібно розглядати не лише у контексті методик визначення розміру шкоди, завданої ґрунтам і землям внаслідок воєнних дій, а й у площині інших видів діяльності (картографування, бонітування, моніторингу ґрунтів і земель, підготовки кваліфікованих фахівців у галузі ґрунтознавства, управління земельними ресурсами, природокористування та ін.). Злагоджена співпраця колективу фахових спеціалістів разом з працівниками державного апарату відповідних напрямків створить якісний фундамент для визначення розміру шкоди ґрунтово-земельним ресурсам держави з наступним розробленням заходів щодо їх післявоєнного відновлення.

ORCID iD

Oksana Pidkova  <http://orcid.org/0000-0003-1546-8768>

Список посилань

- Baliuk, S. A., Kucher, A. V., Solokha, M. O., Solovei, V. B. (2024). Otsiniuvannia vplyvu zbroinoi ahresii rf na gruntovyi pokryv Ukrainy. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 1(125), 7-18. [Балюк С. А., Кучер А. В., Солоха М. О., Соловей В. Б. (2024). Оцінювання впливу збройної агресії рф на ґрунтовий покрив України. *Український географічний журнал*. 1(125), 7-18]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007>.
- Baliuk, S. A., Kucher, A. V., Maksymenko, N. V. (2021). Gruntovi resursy Ukrainy: stan, problemy i stratehiia staloho upravlinnia. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2(114), 3-11. [Балюк, С. А., Кучер, А. В., Максименко, Н. В. (2021). Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління. *Український географічний журнал*. 2(114), 3-11].
- Furdychko, O. I., Drebot, O. I., Demianiuk, O. S., Tkach, Ye. D., Bunas, A. A. (2022). *Ekolohiia ahrosfery*. Kyiv: DIA. [Фурдичко, О. І., Дребот, О. І., Дем'янюк, О. С., Ткач, Є. Д., Бунас, А. А. (2022). *Екологія агросфери*. Київ: ДІА].
- Ivaniuk, H. S. (2009). *Bioproduktivnist gruntiv*. Lviv: Vydavnychi tsestr LNU imeni Ivana Franka. [Іванюк, Г. С. (2009). *Біопродуктивність ґрунтів*. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка].
- Lebid, L. (2022). *Poshkodzhenia zemlia: yak vidnovyty rodiuchist gruntu pislia bombarduvan ta pozhezh*. [Лебідь, Л. (2022). *Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж*]. URL: <https://agroportal.ua/publishing/rassledovaniya/poshkodzhenia-zemlya-yak-vidnoviti-rodyuchist-grutu-pislya-bombarduvan-ta-pozhezh>.
- Melioratyvni systemy ta sporudy DBN V.2.4-1-99*. Nakaz Derzhavnogo komitetu Ukrainy z budivnytstva ta arkhitektury vid 25.06.1999 №153 [Меліоративні системи та споруди ДБН В.2.4-1-99. Наказ Державного комітету України з будівництва та архітектури від 25.06.1999 р. №153]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/fin34919?an=73&ed=1999_06_25.
- Mistse Ukrainy u svitovomu ahroeksporiti* [Місце України у світовому агроекспорті]. URL: <https://dia.dp.gov.ua/misce-ukra%D1%97ni-v-svitovomu-agroeksporiti>.
- Papish, I., Ivaniuk, V., Papish, P. (2023). Voienna dehradatsiia zemel u konteksti velykomasshtabnykh gruntovykh obstezhen. *Geneza, heohrafiia ta ekolohiia gruntiv: materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Gruntoznavstvo XXI stolittia: suchasni vyklyky ta stratehiia rozvytku»*, prysviachenoï 30-richchiu kafedry gruntoznavstva i heohrafiï gruntiv Lvivskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Franka. Lviv: Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. [Папіш, І., Іванюк, В., Папіш, П. (2023). Воєнна деградація земель у контексті великомасштабних ґрунтових обстежень. *Гене́за, географія та екологія ґрунтів: матеріали Міжнародної наукової конференції «Ґрунтознавство XXI століття: сучасні виклики та стратегія розвитку»*, присвяченої 30-річчю кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів Львівського національного університету імені Івана Франка. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка].
- Pidkova, O. (2023). Dehradatsiia gruntiv Ukrainy v umovakh povnomasshtabnoi viiny i aktualni pytannia monitorynhu yikhnoho stanu. *Geneza, heohrafiia ta ekolohiia gruntiv: materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Gruntoznavstvo XXI stolittia: suchasni vyklyky ta stratehiia rozvytku»*, prysviachenoï 30-richchiu kafedry gruntoznavstva i heohrafiï gruntiv Lvivskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Franka. Lviv: Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. [Підкова, О. (2023). Деградація ґрунтів України в умовах повномасштабної війни і актуальні питання моніторингу їхнього стану. *Гене́за, географія та екологія ґрунтів: матеріали Міжнародної наукової конференції «Ґрунтознавство XXI століття: сучасні виклики та стратегія розвитку»*, присвяченої 30-річчю кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів Львівського національного університету імені Івана Франка. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка].
- Pozniak, S.P., Havrysh, N.S. (2021). *Sotsialne gruntoznavstvo*. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. [Позняк, С.П., Гавриш, Н.С. (2021). *Соціальне ґрунтознавство*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка].
- Pro poriadok vyznachennia ta vidshkoduvannia zbytkiv vlasnykam zemli ta zemlekorystuvacham*. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19.04.1993 r. №284 [Про порядок визначення та відшкодування збитків власникам землі та землекористувачам. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.1993 р. №284]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/kmp93284?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress01.
- Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia rozmiru shkody zavdanoï zemli, gruntam vnaslidok nadzvychainykh sytuatsii ta/abo zbroinoï ahresii ta boiovykh diï pid chas diï voïennoho stanu*. Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 04.04.2022 №167 [Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану. Наказ Міністерства захисту

- довкілля та природних ресурсів України від 04.04.2022 р. №167]. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/RE37742?an=1>.
- Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia shkody ta zbytkiv, zavdanykh zemelnomu fondu Ukrainy vnaslidok zbroinoi ahresii Rosiiskoi Federatsii.* Nakaz Ministerstva aharnoї polityky ta prodovolstva Ukrainy vid 18.05.2022 №295 [Про затвердження Методики визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації]. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 18.05.2022 р. №295]. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/RE37922?an=1>.
- Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh konsentratsii nebezpechnykh rechovyh u gruntakh, a takozh pereliku takykh rechovyh.* Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15.12.2021 №1325 [Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин]. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.2021 р. №1325]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/kp211325?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress01.
- Pro zatverdzhennia Poriadku vyznachennia shkody ta zbytkiv, zavdanykh Ukraini vnaslidok zbroinoi ahresii Rosiiskoi Federatsii.* Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20.03.2022 №326 [Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації]. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.2022 р. №326]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/kp220326?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress01.
- Pro zatverdzhennia Pravyl rozroblennia robochykh proektiv zemleustroi.* Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 02.02.2022 №86 [Про затвердження Правил розроблення робочих проєктів землеустрою]. Постанова Кабінету Міністрів України від 02.02.2022 р. №86]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/KP220086?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress01.
- Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., Sorokina, L. (2023). *Zabrudnennia zemel vnaslidok ahresii rosii proty Ukrainy.* [Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., Сорокіна, Л. (2023). *Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України*]. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii.pdf>
- Ukraina maibutnioho: Vstup do EU, povoienna vidbudova, ekolohichni problemy ta enerhetychna nezalezhnist ochyma peresichnoho ukrayintsia* [Україна майбутнього: Вступ до ЄС, повоєнна відбудова, екологічні проблеми та енергетична незалежність очима пересічного українця]. URL: <https://dixigroup.org/analytic/ukrayina-majbutnogo-vstup-do-yes-povoyenna-vidbudova-ekologichni-problemy-ta-energetychna-nezalezhnist-ochyma-peresichnogo-ukrayinczya>.
- Zavdana dovkilliu shkada vnaslidok viiny vzhe perevyshchuie 2,4 tryliona* [Завдана довкіллю шкода внаслідок війни вже перевищує 2,4 трильйона]. URL: Взято з <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3850599-zavdana-dovkillu-skoda-vnaslidok-vijni-vze-perevisue-24-triljona-strilec.html>.
- Zemelnyi kodeks Ukrainy vid 25.10.2001 №2768-III* [Земельний кодекс України від 25.10.2001 р. №2768-III]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/T012768?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress01.

Геоінформаційне забезпечення класифікації лісів за функціональним призначенням: кейс Шепетівського району Хмельницької області

Ганна Стракович 

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

Реферат

Запропоновано положення геоінформаційного забезпечення класифікації лісів за функціональним призначенням. Досліджено сучасний стан лісів Шепетівського району Хмельницької області та здійснено їх класифікацію на основі використання космічних знімків високої просторової роздільної здатності «PlanetScope» компанії Planet Labs PBC. Розраховано показники лісистості та співвідношення класів лісів у розрізі територіальних громад Шепетівського району.

Ключові слова

Ліси, ГИС, ДЗЗ, функціональне призначення, Шепетівський район

Надійшла до редакції: 20 червня 2024 / Прийнята: 30 червня 2024 / Опублікована онлайн: 17 липня 2024

Geoinformation support of the forest classification by the functional purpose: the case of Shepetivka rayon of Khmelnytskyi region

Hanna Strakovych

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

Abstract

The provisions of geoinformation support for classification of forests by functional purpose are proposed. The current state of the forests of Shepetivka rayon of Khmelnytskyi oblast is studied and their classification is carried out on the basis of using high spatial resolution satellite images “PlanetScope” by Planet Labs PBC. Indicators of forest cover and the ratio of forest classes in the context of territorial hromadas of Shepetivka rayon are calculated.

Keywords

Forests, GIS, remote sensing, functional purpose, Shepetivka rayon

Received: 20 June 2023 / Accepted: 30 June 2024 / Published online: 17 July 2024

1. Вступ

Ліси є складними динамічними системами, які надають низку екосистемних послуг. Антропогенна трансформація лісового покриву планети призвела до загострення екологічного стану і появи глобальних змін природного середовища. У зв'язку з цим ведеться пошук нових підходів та методів дослідження цієї проблеми задля подальшої охорони та збереження лісів.

Теоретичні та методологічні основи збереження і відтворення лісів, в тому числі їх класифікації, висвітлено в багатьох наукових працях українських дослідників, зокрема М. Д. Гродзинського (2014), Г. І. Денисика (2012), І. С. Круглова (2020), О. Василюка і Л. Ільмінської (2020), І. П. Соловій (2016), І. М. Коваленка (2018), М. А. Голубця (2010) та ін.

У результаті аналізу наявних літературних джерел досліджено існуючі схеми класифікації лісів. Ф. Ф. Адамень та Ю. В. Плугатар (2012) удосконалили лісотипологічні засади класифікації лісів. Лісознавці Є. В. Алексеев, П. С. Погребняк, Д. В. Воробйов, П. П. Кожевников запропонували класифікацію лісів як взаємопов'язану єдність типів деревостану й місця розташування, надаючи домінуючу роль останньому

(Kozhevnikov, 1931). Г. І. Денисик (2012) запропонував класифікувати лісові ландшафти за показником їх антропозованості. І. С. Круглов (2020) виділив фізіономічні класи лісових екосистем.

Ліси України за екологічним і соціально-економічним значенням та залежно від основних виконуваних ними функцій поділяються на такі категорії:

- 1) захисні ліси (виконують переважно водоохоронні, ґрунтозахисні та інші захисні функції);
- 2) рекреаційно-оздоровчі ліси (виконують переважно рекреаційні, санітарні, гігієнічні та оздоровчі функції);
- 3) ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення (виконують особливі природоохоронні, естетичні, наукові функції тощо);
- 4) експлуатаційні ліси (*The Forest Code...*).

Методичні підходи до класифікації лісів на основі використання геоінформаційних технологій та даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) представлено у наукових дослідженнях В. І. Лялька, Г. М. Жолобака, А. Я. Ходоровського (2019), ними розроблено методику класифікації лісів на прикладі території Карпатського національного природного парку.

Х. В. Бурштинська, Б. В. Поліщук, О. Ю. Ковальчук (2013) дослідили ефективність методів контрольованої

Corresponding author:

Hanna Strakovych, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St, Kyiv, 01601, Ukraine
Email: annastrakovych19@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

класифікації за мінімальною відстанню, відстанню Махаланобіса, максимальною правдоподібності, випадкового лісу для ідентифікації лісів на основі матеріалів супутникових знімків Ikonos, QuickBird.

А. Д. Смалійчуком (2014) проаналізовано сучасну структуру наземного покриву північної частини Хмельницької області як важливого індикатора антропогенної трансформації ландшафтів станом на 2014 рік, використовуючи дані з супутника Landsat 8.

Мета дослідження полягає у розробці положень геоінформаційного забезпечення класифікації лісів за функціональним призначенням та перевірці цих положень на прикладі території Шепетівського району Хмельницької області.

Територія дослідження площею 5,35 тис. км² є адміністративним районом у північній частині Хмельницької області (рис. 1), який складається з 18-ти територіальних громад.

У природно-географічному відношенні район дослідження є досить різноманітним, оскільки охоплює східну частину Волинської височини, північну частину Подільської височини, а також частину Малоого Полісся, що розділяє ці височини. У районі переважають сосново-дубові ліси із переважанням сосни звичайної (Gerenchuk, 1980).

2. Матеріали і методи

Для виконання дослідження були використані такі матеріали: 1) супутникові знімки «PlanetScore» компанії Planet Labs PBC з просторовою роздільною здатністю 3 м станом на 17 березня, 14 серпня та 2 листопада 2023 року, за допомогою яких дешифровано масиви лісів досліджуваної території (рис. 2.) (PlanetScore...); 2) межі досліджуваної території завантажено з атласу

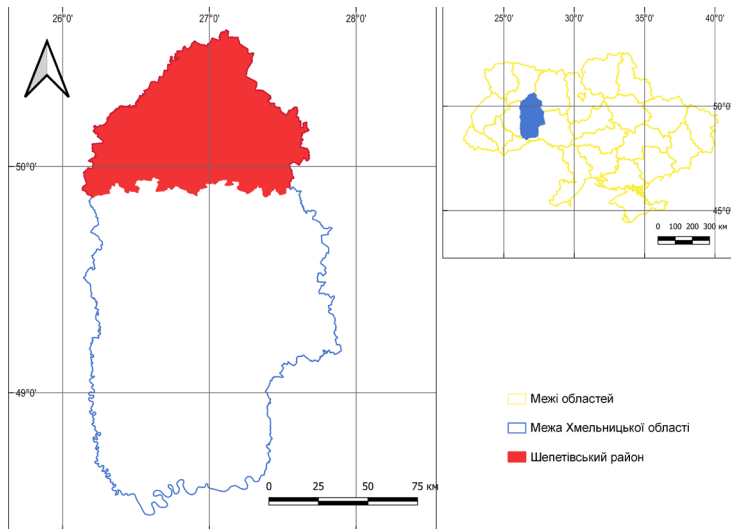


Рис. 1. Територія дослідження.
Fig. 1. The research area.

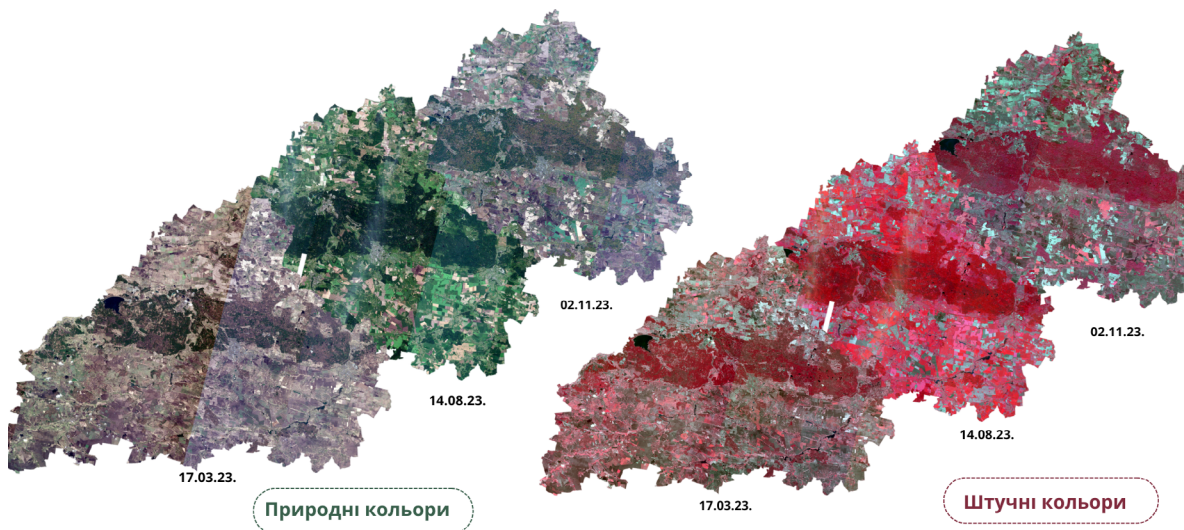


Рис. 2. Багатоканалний мультиспектральний композит супутникових знімків PlanetScore.
Fig. 2. PlanetScore multichannel multispectral satellite image composite.

адміністративно-територіального устрою України (*Atlas of the administrative...*); 3) межі земельних ділянок досліджуваного району завантажено з інформаційного порталу відкритих даних земельного кадастру України (станом на 2024 рік портал є закритим) (*Official public cadastral...*); 4) межі об'єктів природно-заповідного фонду завантажені з Державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду України (*State Cadastre...*). Для опрацювання даних застосовано програмне забезпечення QGIS.

У дослідженні було використано комплекс геоінформаційних методів. При аналізі космічних знімків використано метод дистанційного зондування Землі. Для дешифрування масивів лісів використано метод машинного навчання – ітеративний алгоритм «Random Forest». Для дослідження просторового розподілу отриманих даних було використано методи геопросторового аналізу, а саме векторний аналіз,

оверлейний аналіз та інші. При створенні та для подальшого аналізу серії синтетичних та аналітичних карт, які відображають вихідні дані та результати проведеного дослідження – метод геоінформаційного аналізу. Загальну схему проведеного дослідження представлено на рис. 3.

3. Результати

У дослідженні використано схему класифікації лісів за екологічним і соціально-економічним значенням (функціональним призначенням) (*The Forest Code...*) та доповнено п'ятим класом – «ліси перспективні для заповідання (природні ліси)» (рис. 4). Цей клас являє собою лісові масиви, які знаходяться поза межами природно-заповідного фонду (ПЗФ). За даними кадастру вони не використовуються для ведення лісового господарства, також це ліси, які не включені в межі населених пунктів

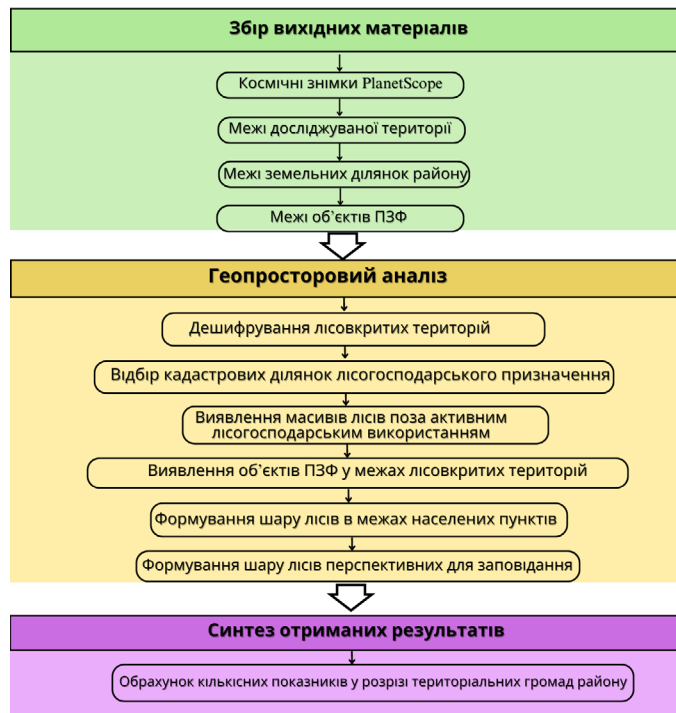


Рис. 3. Схема дослідження.
Fig. 3. The scheme of the research.

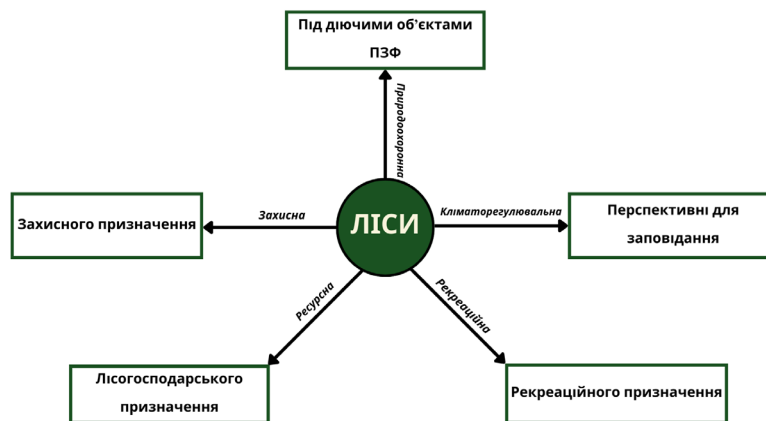


Рис. 4. Схема класифікації лісів за функціональним призначенням.
Fig. 4. Scheme of the forest classification by the functional purpose.

(території де переважають ліси та інші зелені насадження рекреаційного призначення).

У природних лісах антропогенний вплив проявляється локально і тимчасово, не змінює структури фітоценозів, тому вони здатні протягом короткого часу відновитися природним шляхом до стану пралісових екосистем (*The Forest Code...*). Такі ліси є важливими для посилення екологічного каркасу субрегіону.

Особливе значення мають ліси під діючими об'єктами ПЗФ, оскільки це території, що знаходяться під охороною держави згідно з чинним законодавством. Дані ліси слугують середовищем існування для багатьох рідкісних видів рослин і тварин, зокрема й тих, що занесені до Червоної книги України. Ліси, що є перспективними для заповідання, також є більш стійкими природними екосистемами, оскільки вони зазнали найменшої антропогенної трансформації в порівнянні із наступними класами лісів. Лісами рекреаційного призначення є ділянки, що виконують рекреаційну та оздоровчу функцію і переважно використовуються для туристичних, спортивних, оздоровчих і відпочинкових цілей. Ліси лісогосподарського призначення забезпечують потреби суспільства в лісових ресурсах. Їх виділено на основі кадастрових даних за типом використання території.

До лісів захисного призначення віднесено полезахисні лісосмуги, захисні смуги лісів вздовж залізниць та автомобільних доріг, а також лісосмуги вздовж водних об'єктів. Вони надають такі важливі послуги як захист від вітрової та водної ерозії, а також вони є бар'єром, який зменшує рівень шуму та пилу в населених пунктах. Крім того, лісосмуги формують екологічні коридори, які є місцями існування та міграції багатьох видів рослин та тварин.

На основі дешифрування масивів лісів визначено, що в межах Шепетівського району вони займають 158 тис. га, що становить 29 % від усієї площі адміністративного району. Відповідно, показник лісистості майже вдвічі більший за середній показник заліснення по всій країні (15,9 %) (Vasyluk, 2021). Крім того, частка лісів Шепетівського району становить більше половини площі (56,4 %) усіх лісів Хмельницької області. Основні лісові масиви зосереджені в центральній частині району, яка є осередком природної області Малеого Полісся. Дещо менша частка лісів розташована на периферії досліджуваної території (рис. 5).

Аналізуючи показник лісистості (рис. 6), можна побачити значні відмінності у розрізі територіальних громад досліджуваної території. Найбільша частка

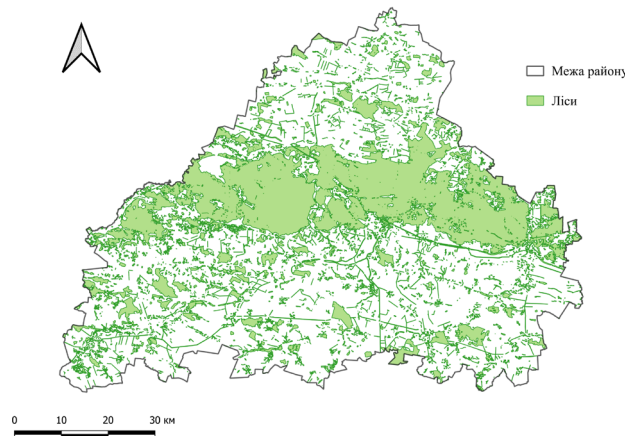


Рис. 5. Лісові масиви Шепетівського району Хмельницької області.
Fig. 5. Forested areas of Shepetivka rayon, Khmelnytskyi region.

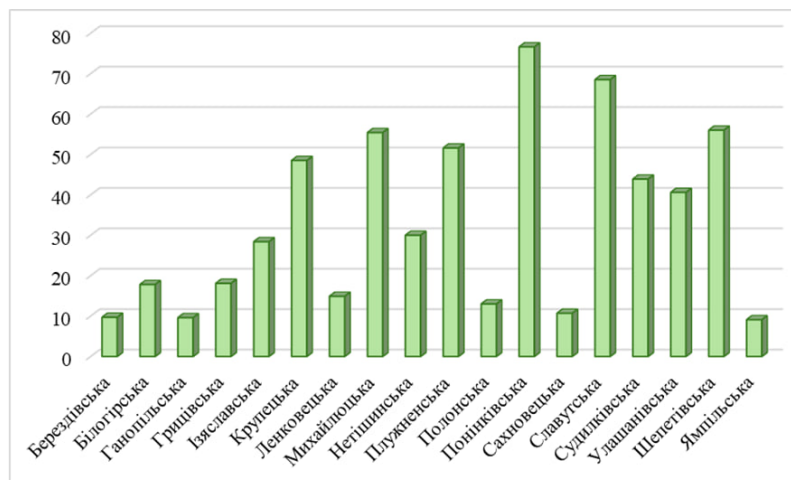


Рис. 6. Показники лісистості територіальних громад Шепетівського району Хмельницької області (%).
Fig. 6. The forest cover indicators in the territorial hromadas of Shepetivka rayon of Khmelnytskyi region (%).

лісистості спостерігається в Понінківській (76,6 % від усієї площі лісів тергромади), Славутській (68,5 %) та Шепетівській (56 %) територіальних громадах. Найменші показники виявлено у Ямпільській (9,1 % від усієї площі лісів тергромади), Ганопільській (9,6 %) і Берездівській (9,7 %) територіальних громадах.

На основі використаної схеми класифікації укладено карту лісів Шепетівського району Хмельницької області за функціональним призначенням (рис. 7).

Більше половини лісових масивів становлять ліси лісогосподарського призначення (57% від загальної площі лісів досліджуваної території) (рис. 8). Найбільша частка лісів даного типу виявлена в Улашанівській територіальній громаді (81,6 % від усієї площі лісів тергромади), а найменша – у Полонській (7,9 %) (табл. 1).

Друге місце займають ліси перспективні для заповідання (27 % від загальної площі лісів досліджуваної території). Найбільшу частку вони займають у Полонській тергромаді (63,3 % від усієї площі лісів тергромади), а найменшу – у Славутській (5,4 %).

На основі аналізу даних Державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду України виявлено, що в межах території дослідження розташовано 79 об'єктів ПЗФ. Найбільші території займають НПП «Мале Полісся», загальнозоологічний заказник «Лизнявський» та ландшафтний заказник місцевого значення «Йосипівський». Досліджено, що ліси, які зростають в межах діючих об'єктів ПЗФ, займають 7 % від загальної площі лісів досліджуваної території. У розрізі тергромад їх найбільше у Славутській (41% від

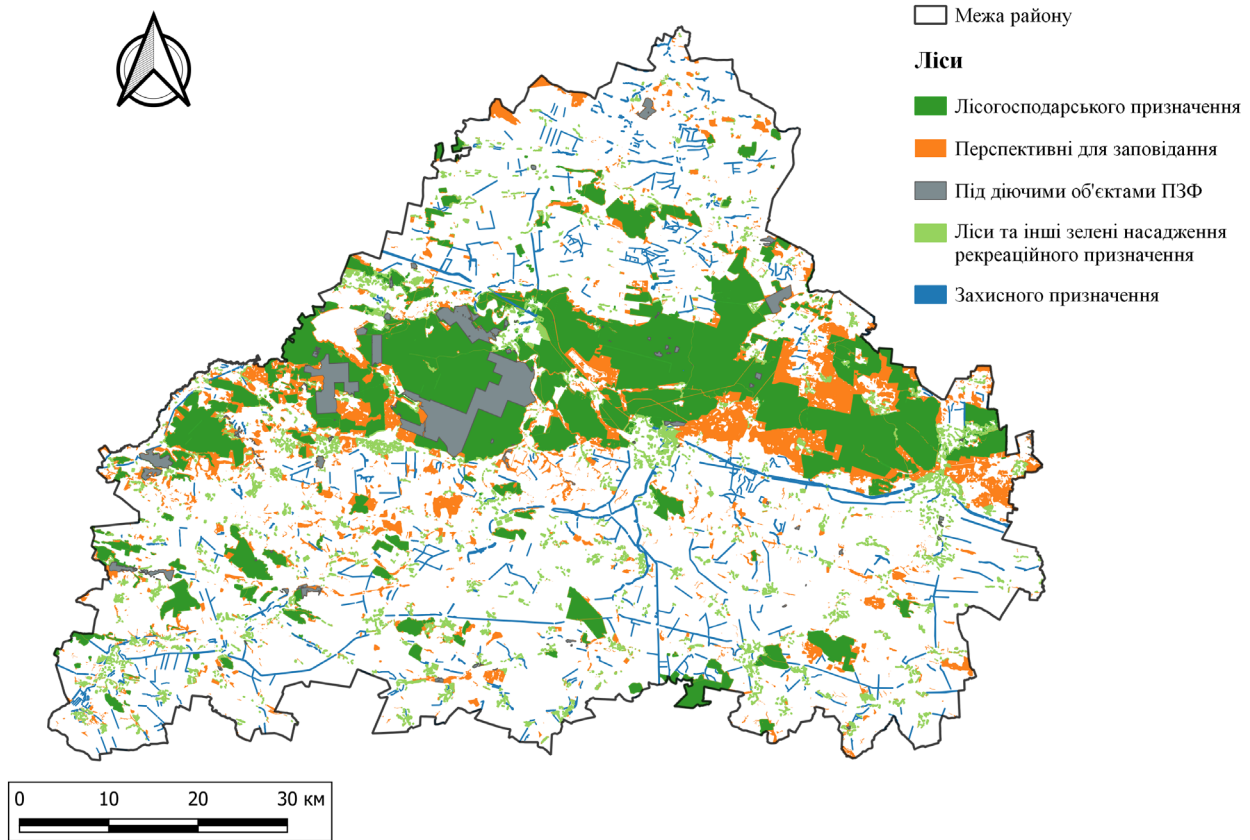


Рис. 7. Ліси Шепетівського району Хмельницької області за функціональним призначенням.
Fig. 7. Forests of Shepetivka rayon of Khmelnytskyi region by the functional purpose.



Рис. 8. Співвідношення частки площ лісів Шепетівського району за функціональним призначенням.
Fig. 8. Functional purpose ratio in Shepetivka rayon.

Таблиця 1. Співвідношення частки площ лісів Шепетівського району за функціональним призначенням у розрізі територіальних громад.
Table 1. Functional purpose ratio in Shepetivka rayon in terms of territorial hromadas.

Територіальна громада	Лісгосподарського призначення, %	Захисного призначення, %	Ліси та інші зелені насадження рекреаційного призначення, %	Під діючими об'єктами ПЗФ, %	Перспективні для заповідання, %
Берездівська	33,3	14,3	4,7	9,8	37,9
Білогірська	44,3	5,3	8,1	8,5	33,8
Ганопільська	21,5	12,2	8,1	1,1	57,2
Грицівська	62,1	5,2	9,1	0,1	23,6
Ізяславська	44,7	3,3	4,9	20,2	26,9
Крупецька	71,2	3,1	1,0	16,7	8,1
Ленковецька	59,4	16,6	7,1	0,0	16,9
Михайлоцька	62,0	1,2	1,8	3,2	31,9
Нетішинська	54,7	4,5	14,1	6,2	20,5
Плужненська	54,9	1,3	4,4	11,2	28,3
Полонська	7,9	10,7	16,4	1,7	63,3
Понінківська	79,8	0,5	2,7	0,0	17,1
Сахновецька	29,4	8,9	23,4	3,3	35,1
Славутська	47,8	0,5	5,3	41,0	5,4
Судилківська	58,9	3,8	1,9	0,4	35,0
Улашанівська	81,6	2,2	1,1	0,6	14,5
Шепетівська	75,8	1,9	5,7	0,5	16,1
Ямпільська	33,3	13,4	22,7	0,0	30,6

загальної площі лісів тергромади), а найменша частка зафіксована у Грицівській тергромаді (0,1 %). У трьох територіальних громадах (Ленковецька, Понінківська, Ямпільська) досліджуваної території відсутні лісові масиви, які взяті під охорону як об'єкти ПЗФ. Проте, для цих територіальних громад характерні відносно високі показники лісистості – Понінківська (76,62 % площі тергромади), Ленковецька (14,9 %), Ямпільська (9,14 %) та висока частка лісів перспективних для заповідання – Ямпільська (30,6 %), Понінківська (17,1 %), Ленковецька (16,9 %). На основі вищенаведеного, перспективним є проведення подальших польових досліджень для виявлення найбільш цінних ділянок для заповідання.

Ліси та інші зелені насадження рекреаційного призначення становлять 5 % від загальної площі лісів досліджуваної території. Найбільшу частку вони займають у Сахновецькій тергромаді (23,4 % від загальної площі лісів тергромади), а найменшу – у Крупецькій (1,0 %). Найбільша концентрація їх у населених пунктах Нетішин, Славута, Шепетівка, Полонне та Ізяслав.

Найменшу частку становлять лісові масиви захисного призначення – 4 % від загальної площі лісів досліджуваної території. Вони розташовані рівномірно по території району, формуючи домінуючий ландшафтний комплекс полів та полезахисних лісових смуг. Зокрема, аналізуючи цей тип лісів у кожній тергромаді, було виявлено, що найбільшу частку вони займають у Ленковецькій тергромаді (16,6 % від загальної площі лісів тергромади). Найменша частка зафіксована у Славутській та Понінківській тергромадах (0,5 % кожна), тому подальшою перспективою для даних територіальних громад є збільшення площі захисних лісів.

4. Обговорення

Використання супутникових знімків «PlanetScore» компанії Planet Labs PBC з високим просторовим (3 метри на піксель) та часовим (щоденне глобальне оновлення) розрізненням у поєднанні із використанням ГІС-технологій дає можливість оперативного та якісного дешифрування лісів, проведення їх класифікації та подальшого моніторингу. Перевагою даних супутникових знімків є їх висока просторова та часова роздільна здатність у порівнянні із супутниковими знімками Sentinel (10 метрів на піксель) та Landsat (30 метрів на піксель). Недоліком є те, що вони є закритим джерелом даних. Для даного дослідження відповідні супутникові знімки були надані громадською організацією «Товариство дослідників України».

До існуючої схеми класифікації лісів за функціональним призначенням запропоновано додати п'ятий клас лісів – «перспективні для заповідання». Перспективним напрямком подальших досліджень є доопрацювання та удосконалення представлених положень геоінформаційного забезпечення класифікації лісів.

5. Висновки

1. Використання супутникових знімків «PlanetScore» компанії Planet Labs PBC з високим просторовим та часовим розрізненням у поєднанні із використанням ГІС-технологій та методів машинного навчання дає можливість оперативного та якісного дешифрування лісів, проведення їх класифікації та подальшого моніторингу.


2. Загальний показник лісистості Шепетівського району становить 29 %, що майже вдвічі більше у порівнянні з середнім показником по Україні. Найбільша частка лісистості виявлена на території Понінківської (76,6 % площі тергромади), Славутської (68,5 %) та Шепетівської (56 %) територіальних громад. Найменша – у Ямпільській (9,1 %), Ганопільській (9,6 %) і Берездівській (9,7 %) територіальних громадах, що становить менше середнього показника по Україні (15,9 %), відповідно на території даних тергромад потрібно провести роботи щодо відновлення лісів і їх лісорозведення.

3. Більшу частку у межах досліджуваної території становлять ліси лісогосподарського призначення (57 % від усієї площі лісів району) та перспективні для заповідання (27 %), а найменшу частку складають ліси під діючими об'єктами ПЗФ (7 %), ліси та інші зелені насадження рекреаційного призначення (5 %), захисного призначення (4 %).

4. У трьох територіальних громадах (Ленковецька, Понінківська, Ямпільська) досліджуваної території взагалі відсутні лісові масиви, які взяті під охорону як об'єкти ПЗФ. Проте, для цих територіальних громад характерним є відносно високі показники лісистості – Понінківська (76,62 % площі тергромади), Ленковецька (14,9 %), Ямпільська (9,14) та висока частка лісів перспективних для заповідання – Ямпільська (30,6 % від усієї площі лісів тергромади), Понінківська (17,1 %), Ленковецька (16,9 %). На основі вищенаведеного, перспективним є проведення подальших польових досліджень для виявлення найбільш цінних ділянок для заповідання.

5. Представлені положення геоінформаційного забезпечення класифікації лісів можуть бути використані у подальших аналогічних дослідженнях для інших територій України. Вони є універсальними для досліджень, як у розрізі адміністративно-територіальних, так і фізико-географічних одиниць (підхід фізико-географічного районування, басейновий підхід).

ORCID iD

Hanna Strakovych  <https://orcid.org/0009-0001-9286-5313>

Список посилань

- Adamen, F. & Pluhatar, Y. (2012). Forest typology classification of Ukrainian forests. *Tavrian Scientific Bulletin*, 83, 231-237.
- Burshtynska, H., Polishchuk, B. & Kovalchuk, O. (2013). Investigation of forest classification methods using high resolution satellite images. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 78, 101-110.
- Denysyk, G. (2012). *Anthropogenic landscape learning: tutorial. Part I. Basis of anthropogenic landscape learning*. Vinnytsya: PE «TD Vydavnytstvo Edelveys i K».
- Gerenchuk, K. (1980). *Nature of the Khmelnytskyi oblast*. Lviv: Vyshysia Shkola.
- Golubets, M. (2010). *Typological ordering of the diversity of forest hromadas in Ukraine*. Lviv: Manuscript.
- Grodzynskyi, M. (2014). *Landscape ecology: textbook*. Kyiv: Znannia.
- Kovalenko, I. (2018). *Forest ecology with basics of reforestation and afforestation: textbook*. Sumy: PF "University Book Publishing House".
- Kozhevnikov, P. (1931). *Forest types and forest associations of Podillya. Forest and vegetation conditions of Podillya*. Kharkiv.
- Kruglov, I. (2020). *Transdisciplinary geocology: monograph*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
- Lyalko, V., Zholobak, G., Khodorovskiy, A., Apostolov, O., Sibirtseva, O., Yelistratova, L., Romanchuk, I., Dorofei, E. (2019). Space-based environmental monitoring as an effective mechanism for forest protection. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth*, 20, 4-12.
- Official public cadastral map* (2021). URL: <https://kadastr.live/>
- Ostapenko, P., Perkhaliuk, R., Bonchkovskiy, O. & Ostapenko, S. (2021). *Atlas of the administrative and territorial structure of Ukraine*. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/13404>.
- PlanetScope* (2023). URL: <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/>
- Smaliychuk, A. (2014). Current land cover of the northern part of Khmelnytskyi oblast based on remote sensing data. *Visnyk of the Lviv University*, 48, 180-186.
- Soloviy, I. (2016). *Evaluation of forest ecosystem services provided by forests of Ukraine and proposals on PES mechanisms*. Enpi East Fleg II, 92.
- State Cadastre of Territories and Nature Reserve Fund of Ukraine* (2023). URL: https://data.gov.ua/dataset/mepi_05
- The Forest Code of Ukraine* dated 21.01.1994, No. 3852-XII, as amended by the Law of Ukraine dated 04.01.2024, No. 3505-IX / Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrayiny. 2023. № 17. Article 100.
- Vasilyuk, O. & Ilminska, L. (2020). *Ecosystem services. An overview*. Published by the Charitable Foundation for the Protection of Biodiversity of Ukraine.

Аналіз часового ходу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження за період 2000–2021 років

Руслан Коваль 

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

Реферат

Зміна клімату стала великою загрозою у XXI столітті, особливо через її вплив на лісові екосистеми та пожежну активність. Лісові пожежі у зоні Чорнобильської аварії є серйозною проблемою, що загрожує екосистемам та життю людей, враховуючи високий рівень радіаційного забруднення. Ліси Чорнобильської зони регулярно зазнають пожеж, що часто виходять з-під контролю. Одним із важливих інструментів для аналізу несприятливих атмосферних умов, що сприяють пожежам, є індекс Hot-Dry-Windy (HDW). Цей індекс поєднує дані про швидкість вітру, температуру та вологість, що дозволяє визначити дні, коли ризик пожежі зростає. Метою даного дослідження є аналіз часового ходу індексу Hot-Dry-Windy (HDW) за період 2000–2021 років та його впливу на ризик виникнення пожеж у Чорнобильській зоні відчуження. У даній роботі ми використовуємо дані реаналізу ERA5, надані Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), та супутникові дані MODIS та VIIRS від NASA для розрахунку індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження. Використання сучасних методів обробки та аналізу кліматичних даних дозволяє отримати точні та надійні результати, які можуть бути використані для подальших досліджень та впровадження у практику. Аналіз часового розподілу місячних значень індексу HDW за період з 2000-го по 2021-ий рік показав залежність від сезонних змін, при цьому найбільші значення індексу HDW спостерігалися в літні місяці, а мінімальні – взимку. Також було виявлено, що індекс HDW має тенденцію до зростання протягом останніх десятиліть, що, можливо, пов'язано з глобальними змінами клімату. Проведений аналіз також підтвердив зв'язок між високими значеннями індексу HDW та виникненням пожеж, особливо коли значення індексу перевищує 95-й перцентиль. Отримані результати аналізу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження є важливими для розуміння динаміки пожежної активності та впливу кліматичних змін на цю територію.

Ключові слова

Зміна клімату, тенденції лісових пожеж, індекс пожежної небезпеки, пожежна небезпека, лісові пожежі, небезпека пожеж, Чорнобильська зона відчуження

Надійшла до редакції: 10 червня 2024 / Прийнята: 22 липня 2024 / Опублікована онлайн: 7 серпня 2024

Analysis of the Temporal Trend of HDW Index for the Chernobyl Exclusion Zone during 2000–2021 yrs

Ruslan Koval

Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

Abstract

Climate changes have become a significant threat in the 21st century, particularly due to its impact on the forest ecosystems and the fire activity. Forest fires in the Chernobyl Exclusion Zone are a serious problem that endangers ecosystems and human life. Given the high level of radiation contamination, the forests of the Chernobyl zone regularly experience fires that often escalate beyond control. One of the crucial tools for analyzing adverse atmospheric conditions contributing to fires is the Hot-Dry-Windy (HDW) index. This index combines data on wind speed, temperature, and humidity; allowing for the identification of days with an increased fire risk. The aim of this study is to analyze the temporal dynamics of the Hot-Dry-Windy (HDW) index for the period of 2000–2021 yrs and its impact on the fire risk in the Chernobyl Exclusion Zone. In this work, we use ERA5 reanalysis data provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), as well as satellite data from MODIS and VIIRS by NASA, to calculate the HDW index for the Chernobyl Exclusion Zone. Utilization of modern methods of climate data processing and analysis enables us to obtain accurate and reliable results that can be used for further research and practical implementation. The analysis of the monthly distribution of HDW index values from 2000 to 2021 yrs revealed a dependence on seasonal changes, with the highest HDW index values observed in summer months and the lowest in winter. It was also found that the HDW index shows a tendency to increase over the last decades, possibly linked to the global climate changes. The conducted analysis also confirmed a correlation between high HDW index values and fire occurrences, especially when the index value exceeds the 95th percentile. The results obtained from the analysis of the HDW index for the Chernobyl Exclusion Zone are crucial for understanding the dynamics of the fire activity and the impact of climate changes on this territory.

Ключові слова

Climate change, wildfire trends, fire danger Index, fire danger, wildfires, fire danger, the Chernobyl Exclusion Zone

Received: 10 June 2024 / Accepted: 22 July 2024 / Published online: 7 August 2024

Corresponding author:

Ruslan Koval, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine
Email: ruslanmw97@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Вступ

Зміна клімату є однією з найгостріших проблем, що стоять перед людством у XXI столітті. Зростаючі температури, зміни у розподілі опадів та частота екстремальних погодних явищ створюють значні виклики для суспільства, екосистем та економік по всьому світу. Особливо тривожним є збільшення кількості і масштабів лісових пожеж, які завдають значної шкоди навколишньому середовищу, майну та здоров'ю людей. У цьому контексті важливість вивчення і розуміння взаємозв'язку між кліматичними показниками та пожежною активністю не може бути переоцінена.

Лісові пожежі стали значним і регулярним природним явищем у Чорнобильській зоні відчуження. Через радіоактивне забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС ці пожежі становлять значну екологічну загрозу не лише для лісових екосистем, а й для прилеглих до них територій проживання людей. У лісах Українського Полісся, розташованих у зоні радіаційного забруднення, найбільш уразливими до пожеж є молоді насадження та середньовікові монокультури сосни в сухих і свіжих типах місцезростання. Оскільки ліси належать до категорії особливо небезпечних (I клас), у цих лісах регулярно виникають пожежі, які часто набувають неконтрольованого характеру. На це явище впливають як антропогенні фактори, так і природна динаміка лісових пожеж, які завжди відігравали вирішальну роль у сукцесії лісів (Levchenko et al, 2020).

Ліси Чорнобильської зони відчуження займають загальну площу 240 570 га і перебувають у підпорядкуванні Державного спеціалізованого комплексного підприємства (ДСП) «Чорнобильська пуща». До складу цього підприємства входять сім лісництв. Площа лісових ділянок становить 211,4 тис. га (83,1 %), а нелісових – 29,2 тис. га (12,1 %). Лісисті території включають 151 тис. га (74,1 %) вкритих лісовою рослинністю та 60,4 тис. га (25,9 %) неvkритих лісовою рослинністю ділянок. Більшість неvkритих територій (93,2 %, або 56,3 тис. га) складається із багаторічної трав'яної рослинності та природного лісовідновлення (Zibitsev et al, 2021).

Дослідники займаються розробкою та уточненням критеріїв, які відображають імовірність виникнення пожеж. Проте створити показник, ідеально відповідний фактичній кількості пожеж, не вдається: по-перше, через різноманітність умов, характерних для виникнення вогняної стихії, та поєднання різних факторів, включаючи антропогенні; по-друге, через нестачу та високу дискретність вихідних даних спостережень природних параметрів. У Канаді з 1925-го року федеральний уряд почав досліджувати безпеку лісових пожеж. З того часу було розроблено п'ять різних систем оцінки, що стали все більш універсальними. Нині використовується Канадська система оцінки безпеки лісових пожеж (CFFDRS), що розробляється з 1968 року. Ця система включає Канадську систему індексу погодних умов лісових пожеж (FWI), яка допомагає в оцінці ризику виникнення пожеж на основі метеорологічних даних. Також в системі є підсистема прогнозування поведінки пожеж (FBP) та

прогнозування виникнення пожеж (FOP). FWI враховує різні фактори, такі як вплив погодних умов на вразливість лісу до пожеж та водний режим ґрунту, для більш точної оцінки ризику в різних регіонах. В Австралії найбільш поширеними є дві системи оцінки лісопожежної небезпеки: показник лісопожежної небезпеки (Forest Fire Danger Index – FFDI) МакАртура (1966; 1967), який використовується у східній частині Австралії, а також таблиці динаміки лісових пожеж (Forest Fire Behaviour Tables – FFBT), що використовуються у Західній Австралії. Найбільш популярним методом визначення пожежної небезпеки в Іспанії є ICONA. Він не є кумулятивним та призначений для визначення ризику виникнення пожежі. У Португалії для оцінки пожежонебезпеки з 1987-го року застосовується метод, у якому використовується метеорологічний кумулятивний показник, котрий є модифікованою версією показника Нестерова (Khodakov et al, 2011).

Україна використовує комплексний показник пожежної небезпеки, розроблений В. Г. Нестеровим (1949) у 40-х роках минулого століття. Цей показник враховує вплив температури повітря і дефіциту вологи на висихання лісових горючих матеріалів під час бездошового періоду і характеризує ступінь посушливості погоди. Однак, цей підхід мав недоліки, такі як неврахування кліматичних особливостей, швидкості вітру і грубу поправку на кількість опадів, що призводило до похибок у визначенні пожежонебезпечного періоду та ступеня пожежної небезпеки (Ivus, 2012).

В сучасних дослідженнях більше уваги приділяється оцінці стану та запасам лісових горючих матеріалів (Hurzhii et al, 2021), лісорослинних та ландшафтних умов лісових територій (Soshenskyi et al, 2021; Sorokina et al, 2020) тощо.

Досліджуваний індекс Hot-Dry-Windy (McDonald et al, 2018; Srock et al, 2018) був розроблений, щоб допомогти користувачам визначити, в які дні більш імовірно будуть несприятливі атмосферні умови, які ускладнюють боротьбу з пожежами у природних екосистемах. Він поєднує дані про метеорологічні умови на підстильній поверхні та нижніх шарах атмосфери, надаючи первинну оцінку для визначення таких днів. Використання індексу Hot-Dry-Windy (або скорочено HDW), заснованого на швидкості вітру, помноженій на дефіцит вологості (VPD), гарантує його застосовність в будь-якій точці земної атмосфери. Оскільки і швидкість вітру, і температура та вологість є параметрами, які можна спостерігати або симулювати у будь-якій місцевості.

2. Матеріали і методи

Для проведення дослідження використовувались дані реаналізу ERA5, які надаються Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) за допомогою платформи Copernicus (Hersbach et al, 2023). Досліджуваний період: з 2000-го по 2021-ий рік. Використовувались щоденні дані, час спостереження обрано на 12 UTC, оскільки саме в цей час зазвичай

спостерігається максимальна температура повітря за добу. Використовувалися такі змінні: температура повітря (T), точка роси (Td), векторні складові горизонтальної швидкості вітру (компонента вітру u та v) та відносна вологість (RH). Горизонтальна роздільна здатність вихідних даних складає $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Для аналізу індексу HDW для території Чорнобильської зони відчуження було обрано та усереднено точки, які найбільш точно відповідають географічним координатам Чорнобильської зони відчуження. Це має раціональне обґрунтування, оскільки незважаючи на значну площу зони, різниця між обраними точками є мінімальною з точки зору аналізу даних протягом тривалого періоду. Для аналізу пожеж використовувалися не усереднені дані, а точка, яка відповідає місцю виникнення пожежі.

Індекс HDW був розрахований за кілька етапів. Першим кроком у розрахунку HDW є розрахунок дефіциту тиску пари (VPD). Цей показник відображає різницю між кількістю водяної пари, яка може знаходитися в повітрі при даній температурі (тиск насичення, E_s), та фактичною кількістю водяної пари (фактичний тиск, E_q).

$$VPD = E_s - E_q \quad (1)$$

Тиск насичення водяної пари (E_s) розраховувався для кожного рівня з використанням формули (WMO, 2008):

$$E_s = 6,112 \times \exp\left(\frac{17,62 \times T}{243,12 + T}\right) \quad (2),$$

де T – температура повітря в градусах Цельсія ($^\circ\text{C}$); 6,112 – константа, що представляє насичений тиск водяної пари при 0°C ; 17,62 – емпіричний коефіцієнт для знаходження залежності насиченого тиску пари від температури; 243,12 – константа, що враховує зміну температури та її вплив на властивості водяного пару.

Для розрахунку фактичного тиску водяної пари використовувалися різні підходи залежно від рівня. Для поверхні – фактичний тиск водяної пари розраховувався за формулою, аналогічною до формули для E_s , але з використанням точки роси (Td) замість температури повітря. Для рівнів тиску 975 гПа та 950 гПа, що відповідають певним висотам над поверхнею Землі, фактичний тиск водяної пари обчислювався як добуток відносної вологості (RH) на тиск насичення водяної пари (E_s), поділений на 100:

$$E_q = \frac{RH \times E_s}{100} \quad (3)$$

Розрахунок швидкості вітру (wspd): Швидкість вітру обчислювалась для кожного рівня як квадратний корінь з суми квадратів компонентів вітру (u і v):

$$wspd = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4),$$

де u — горизонтальна складова вітру, що вимірюється в напрямку захід-схід; v - горизонтальна складова вітру, що вимірюється в напрямку північ-південь.

Після розрахунку VPD та швидкості вітру для всіх рівнів вибиралися максимальні значення серед усіх рівнів для подальшого розрахунку індексу HDW. Індекс HDW був розрахований як добуток дефіциту тиску водяної пари (VPD) та швидкості вітру (wspd). Важливо враховувати, що HDW має одиниці виміру $\text{гПа} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, які не мають прямого фізичного значення для процесів пожежі, тому автори цього індексу рекомендують для уникнення плутанини при використанні цього індексу одиниці виміру не застосовувати.

$$HDW = wspd \times VPD(T, q) \quad (5)$$

Отримані значення індексу HDW для території Чорнобильської зони відчуження записувалися у файл формату NetCDF для подальшого аналізу та візуалізації.

3. Результати та обговорення

Протягом 2000-2021 років розрахований для території Чорнобильської зони відчуження індекс HDW демонструє значні сезонні та річні коливання (рис. 1). В цілому, спостерігається тенденція до підвищення середніх місячних значень індексу HDW, окрім травня, в якому фіксується поступове зниження.

Аналіз середніх місячних значень HDW за 2000-2021 роки показує, що найбільші значення HDW спостерігаються в літні місяці, зокрема в липні та серпні. Це свідчить про значний вплив літніх теплових хвиль на кліматичні умови України. Зимові місяці традиційно демонструють низькі значення HDW, проте спостерігається невелика тенденція до поступового підвищення значень у зимовий період, що може свідчити про загальне потепління клімату.

У зимові місяці середні значення індексу HDW в Україні зазвичай залишаються на низьких рівнях, частіше за все менше 10. Це пов'язано з низькими температурами повітря взимку, які не сприяють виникненню пожеж. З приходом весни індекс HDW починає підвищуватися, особливо в кінці квітня і травні, коли температура повітря починає зростати. У цей період середнє місячне значення індексу може підніматися до 50 і більше, створюючи більш небезпечні умови для виникнення та поширення пожеж. Літні місяці характеризуються високими значеннями індексу HDW, особливо в липні і серпні, коли спека та сухість досягають піка. Індекс може перевищувати 100 і навіть 150, що робить цей період критично небезпечним для пожеж. З приближенням осені індекс HDW починає поступово знижуватися, але залишається вище середнього рівня, особливо на початку вересня і в кінці жовтня. У цей час індекс може коливатися від 20 до 60, що все ще є помітним ризиком для можливих пожеж.

Для аналізу розподілу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження за багаторічний період було побудовано діаграми місячного розподілу багаторічних значень індексу HDW (рис. 2), а також було описано сезонний розподіл, який поділений на діапазони значень.

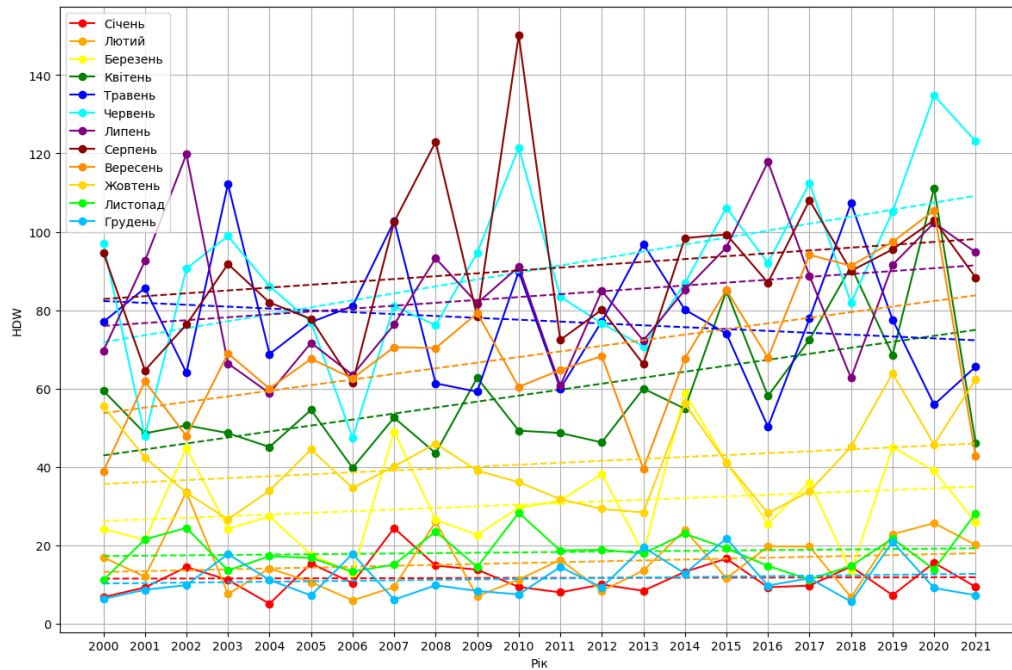


Рис. 1. Середні значення індексу HDW за місяцями та роками для території Чорнобильської зони відчуження.
Fig. 1. Average HDW index values by months and years for the Chernobyl Exclusion Zone territory.

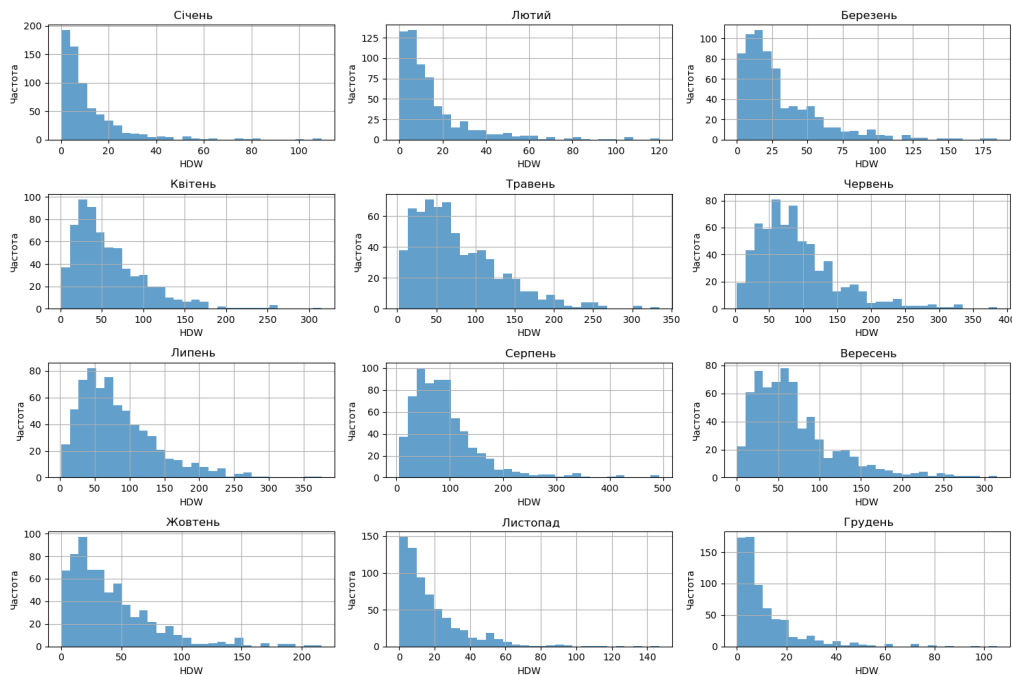


Рис. 2. Місячний розподіл багаторічних значень індексу пожежонебезпечності HDW для території Чорнобильської зони відчуження.
Fig. 2. Monthly distribution of the multi-year fire danger index HDW values for the Chernobyl Exclusion Zone territory.

Розподіл багаторічних значень індексу HDW у зимовий сезон показує, що переважна більшість значень знаходиться в діапазоні від 0 до 25, зокрема 1736 значень з 1973 (88,0 %). Значення у наступних діапазонах зменшуються: 170 значень у діапазоні від 26 до 50 (8,6 %), 45 значень у діапазоні від 51 до 75 (2,3 %), 15 значень у діапазоні від 76 до 100 (0,8 %) та 7 значень у діапазоні від 101 до 125 (0,4 %). Значення у вищих діапазонах (від 126 до 250) відсутні.

У весняний сезон розподіл багаторічних значень стає більш різноманітним: 649 значень знаходяться у

найнижчому діапазоні (36,5 %), 468 значень у діапазоні від 26 до 50 (26,3 %), 347 значень у діапазоні від 51 до 75 (19,5 %), 188 значень у діапазоні від 76 до 100 (10,6 %). Значення у вищих діапазонах продовжують зменшуватися: 125 значень у діапазоні від 101 до 125 (7,0 %), 72 значення у діапазоні від 126 до 150 (4,1 %), 48 значень у діапазоні від 151 до 175 (2,7 %), 23 значення у діапазоні від 176 до 200 (1,3 %), і по 10 значень у діапазонах від 201 до 225 і від 226 до 250 (0,6 % кожен).

В літні місяці багаторічні значення індексу HDW ще більше розподілені по діапазонах: 165 значень знаходяться

у найнижчому діапазоні (9,4 %), 382 значення у діапазоні від 26 до 50 (21,7 %), 385 значень у діапазоні від 51 до 75 (21,9 %), 363 значення у діапазоні від 76 до 100 (20,6 %). Значення у вищих діапазонах включають 238 значень у діапазоні від 101 до 125 (13,5 %), 153 значення у діапазоні від 126 до 150 (8,7 %), 87 значень у діапазоні від 151 до 175 (4,9 %), 63 значення у діапазоні від 176 до 200 (3,6 %), 37 значень у діапазоні від 201 до 225 (2,1 %) та 27 значень у діапазоні від 226 до 250 (1,5 %).

Розподіл індексу HDW у осінній сезон показує, що найбільше значень знаходиться у найнижчому діапазоні (0-25): 893 значення з 1943 (46,0 %). Наступні діапазони мають: 458 значень у діапазоні від 26 до 50 (23,6 %), 292 значення у діапазоні від 51 до 75 (15,0 %), 138 значень у діапазоні від 76 до 100 (7,1 %), 59 значень у діапазоні від 101 до 125 (3,0 %), 54 значення у діапазоні від 126 до 150 (2,8 %), 23 значення у діапазоні від 151 до 175 (1,2 %), 13 значень у діапазоні від 176 до 200 (0,7 %), 8 значень у діапазоні від 201 до 225 (0,4 %) та 5 значень у діапазоні від 226 до 250 (0,3 %).

Одним із ключових аспектів цього дослідження було вивчення взаємозв'язку між індексом HDW та випадками

пожеж на території України. Для цього були використані дані супутникового моніторингу пожеж MODIS та VIIRS від NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>), які надають інформацію про місцезнаходження, час та інтенсивність пожеж. Також для розуміння хронології та масштабів пожеж були використані дані ДСНС України (<https://dsns.gov.ua/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu/>).

Для оцінки ступеня пожежонебезпечності використовуються перцентилі індексу HDW, які охоплюють діапазон від 25 до 95. Цей підхід дозволяє провести детальний аналіз поточних значень індексу в контексті його типових кліматичних показників. Перцентилі індексу HDW розраховані для кожного дня в році протягом періоду дослідження (рис. 3).

За даними ДСНС України, 4 квітня 2020 року у Зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення поблизу с. Володимирівка Котовського лісництва виникла верхова лісова пожежа на площі близько 20 гектарів (рис. 4). Розрахований індекс пожежонебезпечності HDW 4-го квітня становив 103,33 та перевищував 95-й перцентиль. 7 квітня пожежа трав'яного настилу та

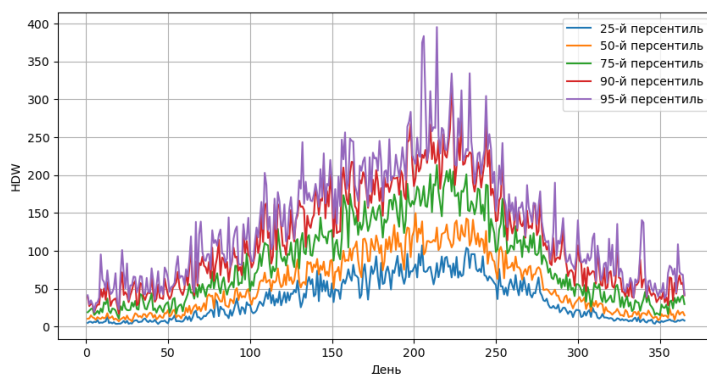


Рис. 3. Добовий хід перцентилів індексу пожежонебезпечності HDW для території Чорнобильської зони відчуження.

Fig. 3. Daily percentiles of the fire danger index (HDW) for the Chernobyl Exclusion Zone territory.

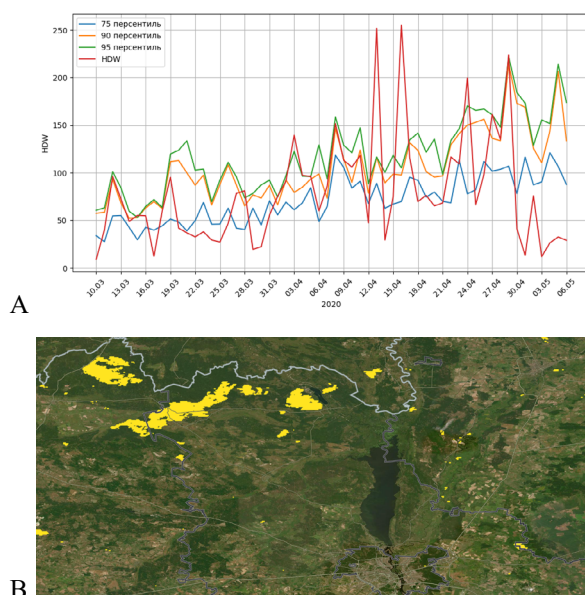


Рис. 4. А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,25° пн. ш., 29,75° сх. д.) та його перцентилів під час квітневої пожежі у 2020 р.; В – зони вигорання у Чорнобильській зоні відчуження за квітень місяць 2020 р.

Fig. 4. A – The daily dynamics of the HDW index (51.25° N, 29.75° E) and its percentiles during the April 2020 fire; B – burnt areas in the Chernobyl Exclusion Zone for April 2020.

лісової підстилки продовжувалась між смт Поліське та с. Володимирівка на площі близько 6,5 гектарів, а також поблизу села Рудня-Осошня на площі близько 4 гектарів, індекс HDW у цей день мав значення 85,75 і перевищував 90-й перцентиль. 13 квітня вогонь пройшов станцію Янів та дістався Прип'яті. Пожежу в Котовському лісництві було повністю ліквідовано. Значення індексу HDW становило 269,70 та значуще перевищувало 95-й перцентиль. 14 квітня виявлено нові загоряння в с. Крива Гора Паришівського лісництва та в районі станції Янів Луб'янського лісництва. Індекс HDW дорівнював значенню 32,94, що менше 25-го перцентилу, оскільки у цей день відбувалося похолодання, а швидкість вітру була відносно невеликою. 16 квітня вогонь відновився через сильний вітер. Основні осередки тління знаходились в районі с. Новий Мир, Кливини, Весняне, Вільшанка, Красне та Бовище. Індекс HDW мав аномальне високе значення, що значно перевищувало 95-й перцентиль та становило 285,46. 17 квітня тривало гасіння осередків тління в Корогодському, Дитятківському, Паришівському та Денисовицькому лісництвах. Індекс HDW дорівнював 133,90, що перевищувало 90-й перцентиль. Станом на 2 травня Пожежі у лісових масивах Зони відчуження локалізовані. Значення індексу HDW становило 74,52 та перевищувало 50-й перцентиль.

28 квітня 2015 року на території комплексу лісового господарства «Чорнобильська пуща» у Зоні відчуження поблизу с. Буряківка, Рудня-Іллінецька, Глинка та Лубянка Іванківського району на площі близько 320 га виникла лісова пожежа (рис. 5). 29 квітня фронт пожежі був оточений і зупинений. Значення індексу HDW становило 204,78, що перевищувало 95-й перцентиль. 29 квітня пожежу було локалізовано, значення індексу HDW дорівнювало 95,58, що перевищувало 50-й перцентиль.

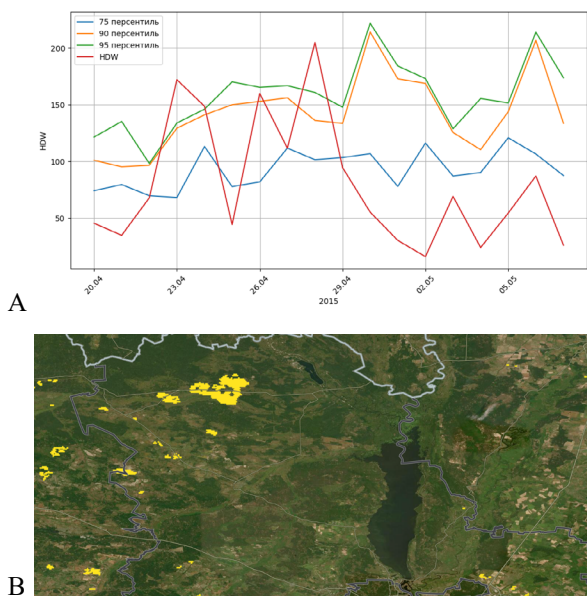


Рис. 5. А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,50° пн. ш., 30,00° сх. д.) та його перцентилів під час квітневої пожежі у 2015 р.; В – зони вигорання у Чорнобильській зоні відчуження за квітень місяць 2015 р.

Fig. 5. А – Daily variation of the HDW index (51.50° N, 30.00° E) and its percentiles during the April 2015 fire; В – burnt areas in the Chernobyl Exclusion Zone for April 2015.

30 квітня поширення вогню не спостерігалось, у межах контрольованого периметру тривало гасіння окремих осередків загорянь лісової підстилки на загальній площі близько 70 га. Значення індексу HDW цього дня становило 55,3, що відповідало 50-му перцентилу. 1 травня осередків відкритого вогню не спостерігалось. Станом на 2 травня пожежу було ліквідовано, значення індексу HDW становило 30,46, що перевищувало 50-й перцентиль.

У зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення 29 червня 2017 р. поблизу с. Буряківка на території ДСП «Північна Пуща» під час проведення технологічної рубки лісу сталося загорання порубкових решток деревини та лісової підстилки на площі близько 25 га (рис. 6). Індекс HDW перевищує 95-й перцентиль, та дорівнює 276,4. 30 червня площа пожежі складає близько 25 га. 1 липня продовжувалось гасіння окремих тліючих осередків.

4. Висновки

Аналіз часового ходу місячних значень HDW за 2000-2021 роки показує залежність значень індексу HDW від сезонних змін, а саме найбільші значення HDW спостерігаються в літні місяці, мінімальні ж спостерігаються взимку. Також було виявлено, що індекс HDW має тенденцію до зростання протягом останніх десятиліть, що може бути пов'язано з глобальними кліматичними змінами. Аналіз показав наявність зв'язку між високими значеннями HDW та виникненням пожеж, особливо коли відбувається перевищення індексом значень 95-го перцентилу. Але важливо розуміти, що високі значення індексу HDW, або перевищення його значення

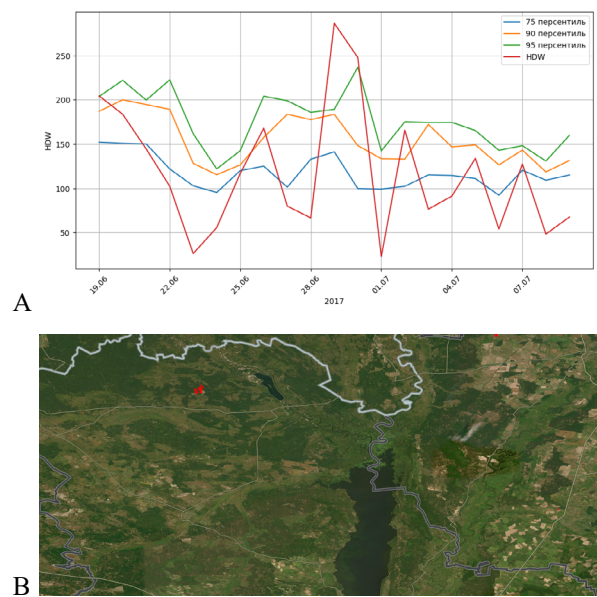



Рис. 6. А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,50° пн. ш., 30,00° сх. д.) та його перцентилів під час червневої пожежі у 2017 р.; В – теплові аномалії за 29 червня 2017 р.

Fig. 6. А – Daily variation of the HDW index (51.50° N, 30.00° E) and its percentiles during the June 2017 fire; В – thermal anomalies for June 29, 2017.

95-го персентилля, не вказують на виникнення пожеж, а лише вказують на підвищення ризику виникнення пожеж.

ORCID iD

Ruslan Koval  <https://orcid.org/0000-0003-3848-8374>

Список посилань

Archive of Daily Reports of the State Emergency Service of Ukraine
<https://dsns.gov.ua/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu/>

Ivus, H. P. (2012). *Spetsializovani prohnozy pohody: pidruchnyk*. Odesa: 407. [Ивус Г. П. (2012). *Спеціалізовані прогнози погоди: підручник*. Одеса: 407 с.]. (In Ukrainian).

WMO (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (CI-MO Guide)*. Subsection I.4–29, p. 119. Retrieved from <https://www.weather.gov/media/epz/mesonet/CWOP-WMO8.pdf>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>

Hurzhi R. V., Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., Tyshchenko O. M., Tertysnyi A. P., Yakubenko B. Ye. (2021). Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*. Vol. 63 (2), P. 116–124.

Soshenskyi, O., Zibtsev, S., Terentiev, A., & Vorotynskyi, O. (2021). Consequences of catastrophic landscape fires in Ukraine for forest ecosystems and population. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, Vol. 12(3), P. 21–34. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.002>

Sorokina L., Petrov M. (2020). *Changes in the structure of the land cover and fire safety of the Chernobyl exclusion zone landscapes: assessment methods using satellites*

Khodakov, V. E., Zharikova, M. V. (2011) *Lesnye pozhary: metody issledovaniya*. Monografiya 230-430 s. [Ходаков В. Е., Жарикова М. В. *Лесные пожары: методы исследования*. Монография. 230-430 с.]. (In Russian).

Levchenko, V. B. et al. (2020). Monitoring protypozhezhnoho zakhystu lisovykh masyv Chornobylskoyi zony vidchuzhennya ta 30-kilometrovoyi zony vidchuzhennya Chornobylskoyi AES. *Visnyk Zhytomyrskoho ahrotekhnichnoho koledzhu: Zbirnyk naukovykh statey*, 2(1), 25–37. [Левченко В. Б. та ін. (2020). Моніторинг протипожежного захисту лісових масивів Чорнобильської зони відчуження та 30-кілометрової зони відчуження Чорнобильської АЕС. *Вісник Житомирського агротехнічного коледжу: Збірник наукових статей*, 2(1), 25–37]. (In Ukrainian).

McArthur, A. G. (1966). Weather and grassland fire behavior. Leaflet 100. *Forestry and Timber Bureau*. Commonwealth of Australia.

McArthur, A. G. (1967). Fire behaviour in eucalypt forests. *Commonwealth of Australian Forest and Timber Bureau*, Leaflet Number 107, Canberra, Australian Capital Territory: 25 p.

McDonald J. M., Srock A. F., Charney J. J. (2018) Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) *Climatology. Atmosphere*; 9(7):285. <https://doi.org/10.3390/atmos9070285>

Fire Information for Resource Management System (NASA FIRMS) <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

Zibtsev, S. V. et al. (2021). *Naukovo-metodychne zabezpechennya stvorennya heoportalu otsinky ryzykiv, prohnozuvannya ta poperedzhennya pryrodnykh pozhezh v Ukraini*: Monografiya. Kyiv: Vydavnytstvo "Naukova stolitsya". 340 p. [Зібцев С. В. та ін. (2021). *Науково-методичне забезпечення створення геопорталу оцінки ризиків, прогнозування та попередження природних пожеж в Україні*: Монографія. Київ: Видавництво «Наукова столиця». 340 с.]. (In Ukrainian).

Nesterov, V. G. (1949). *Gorimost lesa i metody yeye opredeleniya*. M.: Goslesbumizdat. 76 s. [Нестеров В. Г. (1949). *Горимость леса и методы ее определения*. Гослесбумиздат. 76 с.]. (In Russian).

Srock, A. F., Charney, J. J., Potter, B. E., Goodrick, S. L. (2018). The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index. *Atmosphere*, 9(7), 279. <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>

Оцінка ефективності регулювання водного стоку міськими зеленими зонами (на прикладі міста Києва)

Наталія Корогода 

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

Реферат

Екосистемні послуги (ЕП) з регулювання водного стоку, що їх надають міські зелені зони (МЗЗ), є дієвим механізмом підтримання екологічного балансу міста. Обсяги ЕП залежать від ефективності МЗЗ. Проведення оцінки ЕП на основі ефективності функціонування, яке базується на загальних природничих закономірностях, дозволяє створити універсальні підходи, застосовні до будь-якої території. Також важливим є використання відкритих даних дистанційного зондування, що дозволяє проводити таку оцінку не лише науковцям, а й практикам містопланування. Метою роботи є проведення оцінки ефективності МЗЗ у регулюванні водного стоку на основі даних ДЗЗ та використання ГІС-інструментарію з відкритим кодом на прикладі м. Києва. Ефективність виконання функцій з водорегулювання кожною зеленою зоною (або всією синьо-зеленою інфраструктурою (СЗІ) міста вбачається як сила її впливу на загальний баланс води в межах річкового басейну. Оцінка ефективності має проводитись на двох територіальних рівнях: загальноміському та локальному. На загальноміському рівні оцінюванню підлягатиме вся СЗІ міста, на локальному – окремі МЗЗ. Результати моделювання на загальноміському рівні демонструють, що СЗІ в суббасейнах на околицях міста має ефективність щодо регулювання водного стоку на рівні вище середнього. На локальному рівні визначено, що ґрунтово-рослинний покрив у більшості МЗЗ м. Києва обумовлює подібні показники ефективності. Переведення отриманих значень ефективності в обсяги ЕП засвідчило, що 10 % МЗЗ надають ЕП у максимальних обсягах, 70 % – обсягах вище середніх. На загальноміському рівні – СЗІ м. Києва надає ЕП в середніх обсягах та обсягах нижче середнього, що спостерігається у 19 та 2 суббасейнах відповідно. Таке оцінювання ефективності зелених зон є зручним способом показати їх роль та цінність у регулюванні водного стоку, а також виявити шляхи ефективного проектування СЗІ та вибудувати черговість управлінських рішень для досягнення найбільшого ефекту в управлінні паводками.

Ключові слова

Міська зелена зона, екосистемні послуги, водний стік, місто Київ

Надійшла до редакції: 8 липня 2024 / Прийнята: 10 липня 2024 / Опублікована онлайн: 8 серпня 2024

Assessment of the water flow regulation effectiveness by urban green spaces (on the example of Kyiv)

Nataliia Korohoda

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

Abstract

Ecosystem services (ES) for water flow regulation provided by urban green spaces (UGS) are an effective mechanism for keeping the ecological balance of the city. The volumes of ES depend on the effectiveness of the UGS. If the assessment of ES is based on the efficiency of the functioning based on general natural laws, universal methods can be achieved, which can be applied to any territory. It is also important to use open remote sensing data, which will allow this assessment to be used not only by scientists but also by urban planners. The purpose of the paper is to assess the effectiveness of UGS in regulating water flow based on remote sensing data and the use of open source GIS tools on the example of Kyiv. The effectiveness of each green space (or the whole blue-green infrastructure (BGI) in providing water regulation is the level of its impact on the overall water balance within the basin. Effectiveness should be assessed at two territorial levels: city-wide and local. At the city-wide level, the whole city's BGI will be assessed, and at the local level – individual UGS. The results of modeling at the city-wide level show that the BGI in sub-basins on the city's outskirts is above average in its effectiveness in regulating water flow. At the local level, it was determined that the soil and vegetation cover in most of the UGS of Kyiv determines similar efficiency levels. Converting the obtained efficiency values into volumes of ES showed that 10 % of UGS provide ES in maximum volumes, 70 % – in volumes above average. At the city-wide level, the BGI of Kyiv provides ES in average and below the average volumes, which is observed in 19 and 2 sub-basins correspondingly. Such an assessment of the effectiveness of green spaces is a good way to demonstrate their role and value in regulating water flow, as well as to identify ways to design BGI effectively and prioritise management decisions to achieve the greatest flood control effect.

Keywords

Urban green space, ecosystem services, water flow, Kyiv

Received: 8 July 2024 / Accepted: 10 July 2024 / Published online: 8 August 2024

1. Вступ

Екосистемні послуги (ЕП), що їх надають міські зелені зони (МЗЗ), є дієвим механізмом підтримання екологічного балансу урбанізованих просторів. Обсяги ЕП залежать від ефективності зелених зон у виконанні окремих природних та соціально-економічних функцій (National Ecosystem Services..., 2015). Неоднакова ефективність функціонування обумовлюється станом та властивостями МЗЗ. Оцінка ефективності функціонування МЗЗ є одним з шляхів забезпечення їх сталого розвитку та надання максимальних обсягів ЕП, адже дозволяє визначити фактори, що знижують ефективність МЗЗ. Це, в свою чергу, дозволяє обґрунтувати загальну стратегію та першочергові природоохоронні рішення для підвищення ефективності МЗЗ, що є актуальним завданням для містопланувальників.

Необхідність оцінки ефективності, зокрема, стосується і ЕП з регулювання водного стоку (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ці ЕП відносяться до групи регулювальних послуг «Гідрологічний цикл і регулювання водного стоку (включаючи боротьбу з повенями та захист прибережних територій)» (Crossman et al., 2019). В урбанізованому просторі лише МЗЗ та поверхневі водні об'єкти, що разом формують синьо-зелену інфраструктуру (СЗІ) міста, є єдиним природним механізмом, який дозволяє не лише уникнути економічних втрат, пов'язаних з проходженням паводків, а й забезпечити екологічні вигоди, пов'язані з нормалізацією колообігу води.

Серед проведених на сьогодні досліджень по оцінюванню ЕП з регулювання водного стоку можна назвати роботи як по грошовій (Barth & Döll, 2016), так і не грошовій оцінці (Thomas & Nisbet, 2007). Зокрема, роботи стосувались і проведення оцінок зазначених ЕП на територіях міст (Farrugia et al., 2013; Zhang et al., 2012). Найбільш ефективними інструментами проведення просторового аналізу та картографування ЕП є ГІС. ГІС та дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (Crossman et al., 2019; Yang et al., 2015), що наразі активно використовуються, дозволяють проводити оцінку, зокрема і на основі автоматизованих моделей (Nedkov & Burkhard, 2012; Stürck et al., 2014).

Загалом слід зазначити, що наразі для ЕП з регулювання водного стоку існує значна кількість наукових розробок щодо методичного обґрунтування оцінки. В той же час, загальною проблемою є специфічність такої оцінки, що не дозволяє використовувати її на інших територіях (Barth & Döll, 2016). Крім того, існуючі автоматизовані моделі часто спираються на важкодоступну вхідну інформацію.

На нашу думку, якщо проводити оцінку на основі ефективності функціонування, яка базується на загальних природних закономірностях, можна досягти універсальних підходів, застосовних до будь-якої території. Також важливим є використання доступних даних, зокрема відкритих даних дистанційного зондування, що дозволить проводити таку оцінку не

лише науковцям, а й практикам містопланування. Зважаючи на вищевказане, метою роботи є проведення оцінки ефективності МЗЗ у регулюванні водного стоку на основі даних ДЗЗ та використання ГІС-інструментарію з відкритим кодом на прикладі м. Києва. Відповідно до мети, у роботі слід окреслити методичні основи проведення оцінки; описати процедуру проведення кількісної оцінки ефективності та обсягів ЕП; навести результати оцінки ефективності надання екосистемних послуг з регулювання водного стоку.

2. Матеріали і методи

Інструментарієм просторового аналізу при проведенні оцінки було середовище QGIS/SAGA (версія QGIS 3.32.1-Lima). *За вихідні матеріали* були обрані векторні та растрові набори геоданих території м. Києва, що увійшли до бази даних (БД):

- міські зелені зони: інформація отримана з бази даних (OpenStreetMap, 2023) та доповнена з продуктів (Buchhorn et al., 2020; Zanaga et al., 2021);

- тип та розподіл рослинності: інформація отримана з ESA WorldCover за 2020 рік з роздільною здатністю 10 м на основі даних Sentinel-1 і Sentinel-2 (Zanaga et al., 2021) та Copernicus Land Cover, колекція 3, епоха 2019 року, з просторовою роздільною здатністю 100 м (Buchhorn et al., 2020);

- суббасейни Дніпра в межах міста: побудовані на основі відомостей про рельєф території (DSM) (ALOS, 2023);

- ґрунти території, на основі (Korohoda et al., 2023a).

Методика проведення кількісної оцінки ефективності: була викладена нами раніше у (Korohoda & Pochaievets, 2024). Зокрема, у цій роботі було обґрунтовано набір індикаторів у відповідності до яких проводилась оцінка. Цими індикаторами стали: тип рослинності; тип ґрунту; типи земних покривів (вони дозволяють визначати тип геосистеми, що можна інтерпретувати як інтегральний індикатор в оцінюванні ЕП) (Vári et al., 2022); співвідношення різних типів геосистем та природокористування в межах басейну (Syrbe & Walz, 2012).

Відповідно до обраних індикаторів, характеристики умов, у яких функціонують зелені зони, та власне самі зелені зони, що формують атрибутивну складову БД, були умовно розподілені за групами. Перша група параметрів характеризує умови формування стоку. За розрахунковий параметр у цій групі нами обрано середнє багаторічне значення модуля стоку – *Fall*. Друга група параметрів характеризує актуальний стан самих зелених зон. За доцільне тут вбачається використовувати якісні та кількісні параметри, серед яких: *Usage type*, що відображає тип геосистем; тип рослинного покриву – *Vegetation type*; коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву ω_{veg} ; коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту K_{soil} ; коефіцієнт

водорегулюючої здатності, обумовлений типом підстильної поверхні ω (Farrugia et al., 2013; Korohoda & Pochaievets, 2024).

Для реалізації методики було визначено територіальні одиниці, у яких доцільно проводити моделювання. При оцінці ЕП, що їх надають зелені зони міста Києва, зважаючи на рівень досліджень, за територіальні одиниці оцінки було обрано території басейнів малих річок Києва (суббасейнів Дніпра).

Ефективність виконання водорегулювальної функції кожною зеленою зоною (або СЗІ) нами розуміється як сила її впливу на загальний баланс води в межах басейну. Загальна методика оцінки обсягів ЕП базується на визначенні того, наскільки ефективною щодо виконання водорегулювальної функції з одного боку є конкретна МЗЗ, а з іншого – вся наявна СЗІ міста. Відповідно і оцінка ефективності має проводитись на двох територіальних рівнях: загальноміському та локальному. На вищому (загальноміському) рівні оцінці підлягатиме вся СЗІ міста, а на локальному – окремі зелені зони. Методика в кінцевому випадку направлена на те, щоб було можливо легко перевести значення ефективності виконання функції у обсяги ЕП (Korohoda & Pochaievets, 2024). Тож, загальна процедура проведення оцінки полягає у наступному:

1. Встановити в межах басейнів малих річок показники водного стоку.
2. Визначити ефективність виконання функції по регулюванню стоку залежно від актуального стану МЗЗ та антропогенного перетворення території річкового басейну на обох територіальних рівнях.

3. Результати

Початково було встановлено умови, у яких МЗЗ міста Києва виконують свою функцію регулювання стоку. Для цього було визначено середнє багаторічне значення модуля стоку, що складає 1,50-1,85 л/с км² (Lukianets et al., 2021).

Для визначення ефективності на локальному рівні, по-перше, було встановлено тип рослинності – *Vegetation type* та коефіцієнт її водорегулюючої здатності – ω_{veg} (Korohoda & Pochaievets, 2024).

Результати моделювання, представлені у таблиці 1 та на рис. 1 демонструють, що 59 % МЗЗ міста мають добрий потенціал щодо водорегулювання ($\omega_{veg} \geq 0,7$). Лише 11 % об'єктів мають найнижчі показники. Хоча найвищі показники демонструють лише 9 % об'єктів, проте це великі за площами лісові та лісопаркові масиви, що робить рослинність міста достатньо вагомим чинником у регулюванні водного стоку.

Наступним кроком стало визначення на основі ґрунтової карти та польових і лабораторних ґрунтознавчих досліджень коефіцієнта водорегулюючої здатності різних типів ґрунту K_{soil} та встановлення у межах МЗЗ середньозваженого за площами коефіцієнта водорегулювання, обумовленого ґрунтовим покривом. Результати моделювання, представлені у таблиці 2

Таблиця 1. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву (ω_{veg}) у МЗЗ м. Києва.

Table 1. The water regulating capacity coefficient which determined by the quality characteristics of the vegetation cover (ω_{veg}) in the UGS of Kyiv.

ω_{veg}	МЗЗ	
	шт.	%
[0,5 -0,6)	471	11
[0,6 -0,7)	1303	30
[0,7 -0,8)	1882	43
[0,8 -0,9)	301	7
[0,9 -0,95]	377	9

Таблиця 2. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту (K_{soil}) у МЗЗ м. Києва.

Table 2. The water regulating capacity coefficient which determined by the soil characteristics (K_{soil}) in the UGS of Kyiv.

K_{soil}	МЗЗ	
	шт.	%
[0,45 - 0,5)	424	10
[0,5 -0,6)	199	5
[0,6 -0,7)	2513	58
[0,7 -0,8)	243	6
[0,8 -0,9)	682	16
[0,9 -1]	273	6

та на рис. 2, демонструють, що ґрунти в абсолютній більшості МЗЗ міста обумовлюють потенціал щодо водорегулювання вище середнього ($K_{soil} \geq 0,6$). Лише 10 % об'єктів мають найнижчі показники ($K_{soil} \geq 0,4$). Отже, проведене уточнення з урахуванням ґрунтових характеристик показало незначне зниження потенціалу рослинного покриву зелених зон щодо регулювання водного стоку.

Далі, на основі оверлейних операцій між рослинним та ґрунтовим покривом, було встановлено у межах МЗЗ обумовлений рослинним і ґрунтовим покривом коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні $K_{\omega_{(g,a)}}$, за моделлю (1). Власне ж ефективність зеленої зони $E_{water_control_{(g,a)}}$ визначалась за моделлю (2).

$$K_{\omega_{(g,a)}} = \frac{K_{\omega_{veg(g,a)}} + K_{soil(g,a)}}{2} \quad (1),$$

де $K_{\omega_{(g,a)}}$ – коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні; $K_{\omega_{veg(g,a)}}$ – коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні, обумовлений рослинним покривом; $K_{soil(g,a)}$ – коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні, обумовлений ґрунтовим покривом.

$$E_{water_control_{(g,a)}} = Fall \times K_{\omega_{(g,a)}} \quad (2),$$

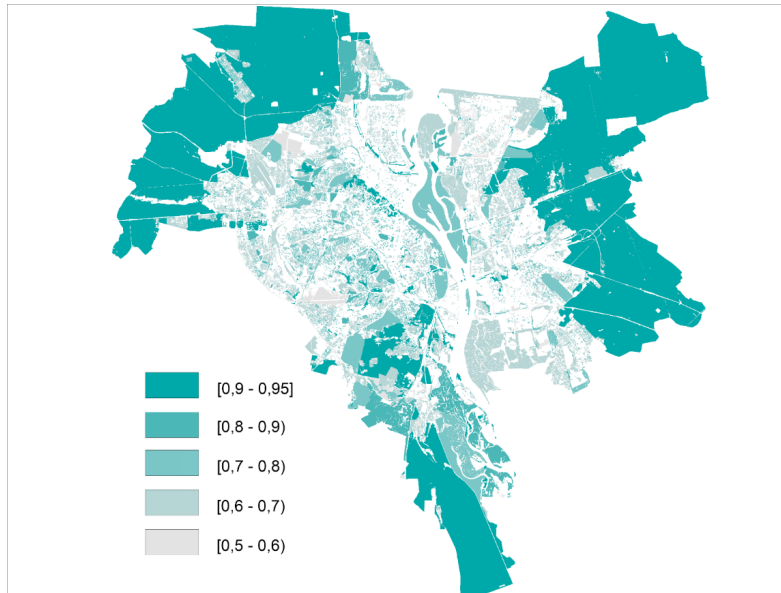


Рис. 1. Результат моделювання коефіцієнта водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву (ω_{veg}) у МЗЗ м. Києва.

Fig. 1. The result of modelling the water regulating capacity coefficient which determined by the quality characteristics of vegetation cover (ω_{veg}) in the UGS of Kyiv.

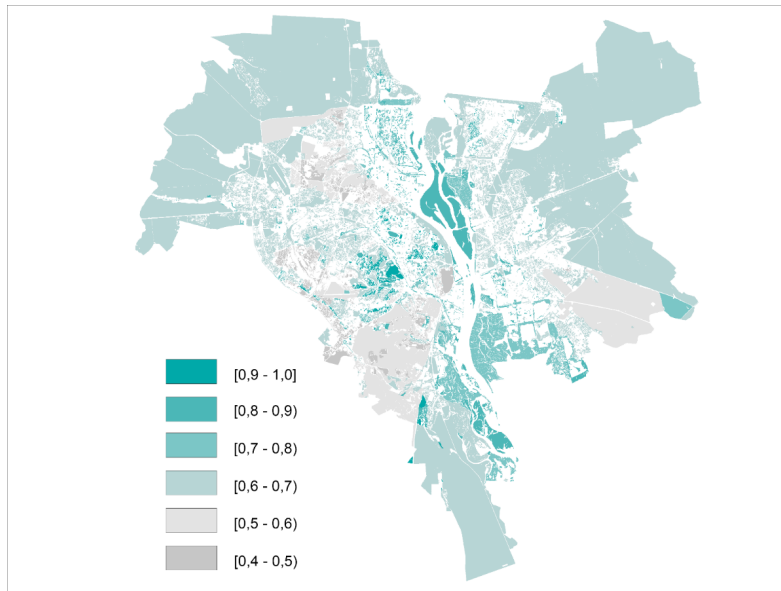


Рис. 2. Результат моделювання коефіцієнта водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту (K_{soil}) у МЗЗ м. Києва.

Fig. 2. The result of modelling the water regulating capacity coefficient which determined by the soil characteristics (K_{soil}) in the UGS of Kyiv.

де $E_{water_control_{(g,a)}}$ – ефективність зеленої зони у регулюванні водного стоку; $Fall$ – середнє багаторічне значення модуля стоку; $K_{\omega_{(g,a)}}$ – коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні.

У результаті моделювання було визначено, що ґрунтово-рослинний покрив у більшості МЗЗ м. Києва обумовлює регулювання водного стоку на 60 % та більше ($K_{\omega_{(g,a)}} \geq 0,6$), тобто ефективність зеленої зони у регулюванні водного стоку ($E_{water_control_{(g,a)}}$) є вищою від середніх показників. Особливу цінність становлять понад 1000 МЗЗ, що здатні регулювати водний стік природним чином на 75 % та вище (табл. 3, рис. 3). Також слід відмітити, що такі МЗЗ представлені не лише на околицях, а й у центральній частині міста (рис.3 (б).

Таблиця 3. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями зелених зон ($K_{\omega_{(g,a)}}$) у МЗЗ м. Києва.

Table 3. The water regulating capacity coefficient which determined by characteristics of the green spaces ($K_{\omega_{(g,a)}}$) in the UGS of Kyiv.

$K_{\omega_{(g,a)}}$	МЗЗ	
	шт.	%
[0,45 - 0,5)	25	1
[0,5 -0,6)	609	14
[0,6 -0,7)	2265	52
[0,7 -0,8)	982	23
[0,8 -0,9)	400	9
[0,9 -1]	53	1

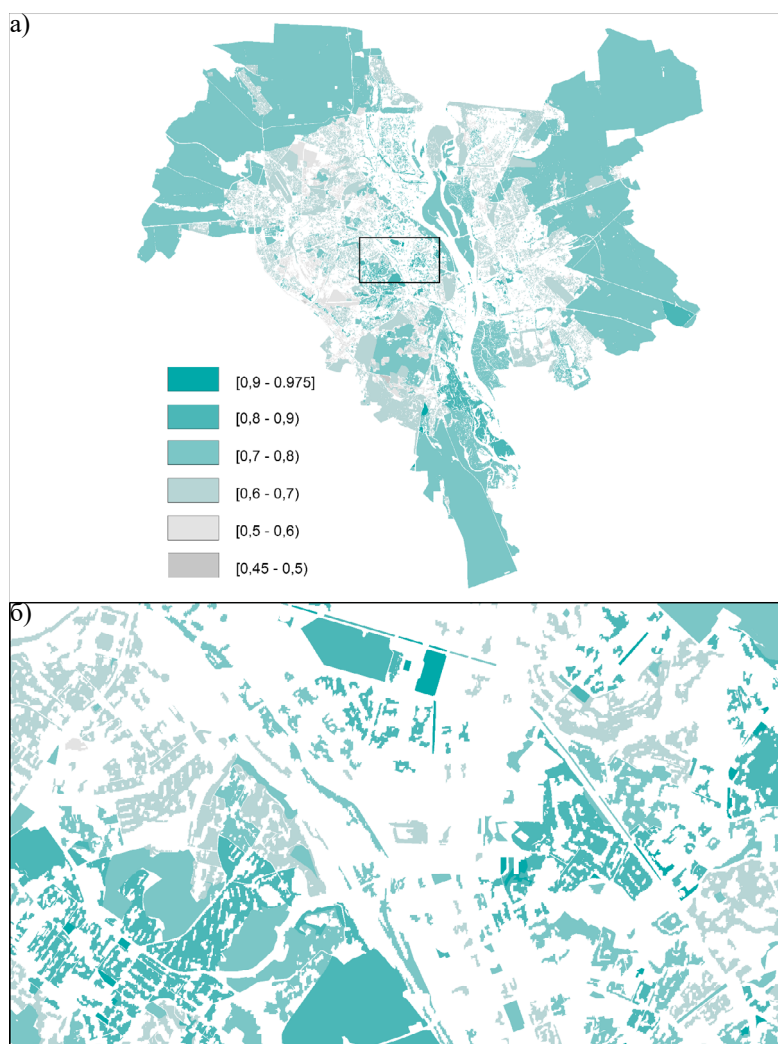


Рис. 3. Результат моделювання ефективності у регулюванні водного стоку окремими МЗЗ м. Києва - $E_water_control_{(g_a)}$.
 Fig. 3. The result of modelling of the water flow regulation efficiency by individual UGS in Kyiv - $E_water_control_{(g_a)}$.

При моделюванні ефективності на загальноміському рівні було визначено типи земних покривів, окрім зелених зон – показник *Usage type* (на основі (OpenStreetMap, 2023)) та для кожного з них встановлено коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений типом підстильної поверхні – ω (Korohoda & Pochaievets, 2024). Оскільки неоднорідні за типами поверхонь території мають різні коефіцієнти водорегулюючої здатності, то для об'єктивного визначення їх впливу на ефективність регулювання водного стоку в межах басейну було встановлено частку площі, що займають ті чи інші типи поверхонь, та визначено сумарний середньозважений за площами показник коефіцієнт водорегулювання для басейну. Результати моделювання, представлені у таблиці 4, демонструють, що співвідношення площ різних типів поверхонь у місті визначає середні та близькі до таких можливості водорегулювання. Тобто за умови порушення штучного водовідводу, найвищі ризики створюються в басейнах р. Нивки та р. Глибочиці. У той же час на 60–70 % можливе водорегулювання за рахунок МЗЗ на окраїнах міста – у басейнах річок Красилівка, Мощунка, Горенка, Видриця, Віта. 53 % суббасейнів міста незабезпечені й на половину природними можливостями

регулювання водного стоку ($\omega \leq 0,5$), що викликає значне занепокоєння в умовах кліматичних змін та зношеності інженерних мереж.

Власне ж ефективність СЗІ в межах басейну $E_water_control$ було визначено за моделлю (3).

$$E_water_control = Fall \times K_{\omega_{(b)}} \quad (3),$$

де $E_water_control$ – ефективність регулювання водного стоку в межах річкового басейну; *Fall* – середнє багаторічне значення модуля стоку; $K_{\omega_{(b)}}$ – коефіцієнт водорегулювання у басейні.

При наявному співвідношенні площ сірої (штучні поверхні) та зеленої (природні поверхні) інфраструктури, а також видового складу рослинності та переважаючих типів ґрунтів не є несподіваним те, що СЗІ міста у суббасейнах на околицях міста має ефективність регулювання водного стоку на рівні вище середнього $E_water_control \geq 0,6$. У той же час, площа забудови, наприклад у басейні р. Дарниця, незважаючи на наявність великого лісового масиву, знижує можливості природного регулювання водного стоку – $E_water_control = 0,480$ (рис. 4).

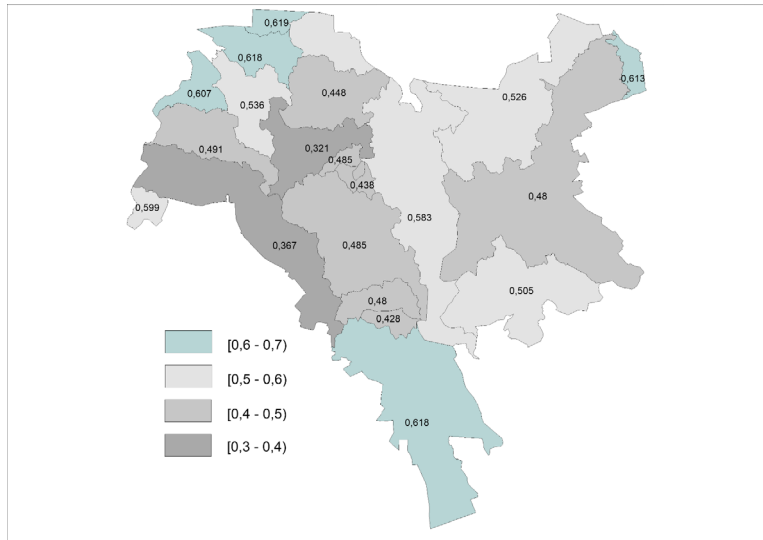


Рис. 4. Результат моделювання ефективності у регулюванні водного стоку у суббасейнах Дніпра - $E_{water_control}$.
Fig. 4. The result of modelling of the water flow regulation efficiency in the Dnipro sub-basins - $E_{water_control}$.

Отримані значення ефективності регулювання стоку $E_{water_control}$ та $E_{water_control}_{(g,a)}$ було переведено у обсяги ЕП на основі ранжування відповідно до шкали бажаності Харрінгтона (Harrington, 1965). Для цього, подібно до методик оцінки інших груп ЕП (Korohoda et al., 2022; Korohoda et al., 2023a; Korohoda et al., 2023b; Korohoda & Kurach, 2023; Korohoda, 2023; Korohoda & Yatsenko, 2023), було застосовано однобічну зростаючу функцію, де 0 відображає найгіршу якість МЗЗ (СЗІ) (мінімальні обсяги ЕП $ES_{water_control}_{(g,a)}$ та $ES_{water_control}_{(BGI)}$), а найвищу (максимальні обсяги) – відображає 1 (табл. 5).

Картографічне відображення результатів моделювання представлено на рис. 5. Зокрема, видно обсяги, що їх надає кожна зелена зона міста. Результати свідчать про те, що за нинішніх показників водного стоку, а також метричних та якісних параметрів, МЗЗ у 10 % випадків надають свій максимум ЕП. Також позитивним є те, що у сьогоднішніх умовах 70 % МЗЗ здатні надавати ЕП у обсягах вище середніх. В той же час, стає зрозумілим, що решта територій потребують змін задля підвищення власної ефективності у водорегулюванні (табл. 6). На загальноміському рівні СЗІ м. Києва у своєму нинішньому стані надає ЕП з регулювання водного стоку в середніх та нижче середніх обсягах, що спостерігається у 19 та 2 суббасейнах відповідно (табл. 7).

Таблиця 4. Коефіцієнт водорегулюючої здатності (ω) у суббасейнах Дніпра в межах м. Києва.

Table 4. The water regulating capacity coefficient (ω) in the Dnipro sub-basins in Kyiv.

ω	Суббасейни Дніпра	
	шт.	%
[0,32 -0,4)	2	10
[0,4 -0,5)	9	43
[0,5 -0,6)	5	24
[0,6 -0,7]	5	24

Таблиця 5. Співвідношення ефективності виконання функції та обсягів екосистемних послуг з регулювання водного стоку.

Table 5. Correlation between the efficiency of the function and the volume of ecosystem services for water flow regulation.

$E_{water_control}_{(g,a)} / E_{water_control}$	$ES_{water_control}_{(g,a)} / ES_{water_control}_{(BGI)}$
[0,8 -1]	Максимальні
[0,63-0,8)	Вище середніх
[0,37-0,63)	Середні
[0,2-0,37)	Нижче середніх
[0-0,2)	Мінімальні

Таблиця 6. Обсяги ЕП з регулювання водного стоку, що надають окремі МЗЗ міста Києва.

Table 6. Volumes of water flow regulation ES provided by individual UGS of Kyiv.

$ES_{water_control}_{(g,a)}$	МЗЗ	
	шт.	%
Максимальні	452	10
Вище середніх	3026	70
Середні	856	20
Нижче середніх	0	0
Мінімальні	0	0

Таблиця 7. Обсяги ЕП з регулювання водного стоку, що надає СЗІ міста Києва.

Table 7. Volumes of water flow regulation ES provided by BGI of Kyiv.

$ES_{water_control}_{(BGI)}$	Суббасейни Дніпра	
	шт.	%
Максимальні	0	0
Вище середніх	0	0
Середні	90	19
Нижче середніх	10	2
Мінімальні	0	0

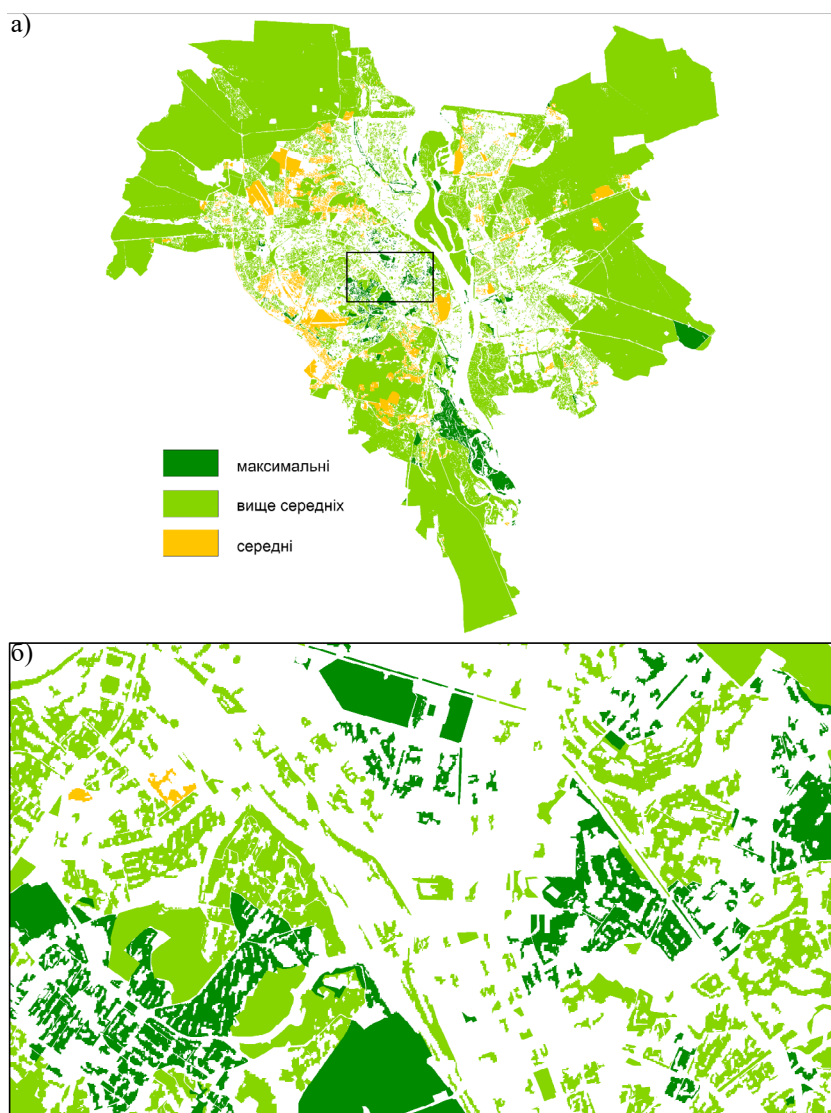


Рис. 5. Результат моделювання обсягів ЕП з регулювання водного стоку, що надають окремі МЗЗ міста Києва - $ES_{water_control(g,a)}$.
 Fig. 5. The result of modelling of volumes of water flow regulation ES provided by individual UGS of Kyiv - $ES_{water_control(g,a)}$.

4. Обговорення

У роботі ефективність виконання водорегулювальної функції кожною зеленою зоною (або СЗІ) трактується як сила її впливу на загальний баланс води в межах басейну. Оцінка ефективності має проводитись на двох територіальних рівнях: загальноміському та локальному. На загальноміському рівні оцінці підлягатиме вся СЗІ міста, а на локальному – окремі зелені зони. Оцінка направлена на те, щоб було можливо перевести значення ефективності виконання функції у обсяги ЕП.

Результати оцінки рослинного покриву території на локальному рівні демонструють, що 59 % МЗЗ міста мають добрий потенціал щодо водорегулювання, 11 % об'єктів мають найнижчі показники. Хоча найвищі показники демонструють лише 9 % об'єктів, проте це великі за площами лісові та лісопаркові масиви, що робить рослинність міста достатньо вагомим чинником у регулюванні водного стоку. Ґрунти в абсолютній більшості МЗЗ міста обумовлюють потенціал щодо водорегулювання на рівні вище середнього, 10 % об'єктів мають найнижчі показники ($K_{soil} \geq 0,4$).

Таким чином, ґрунтово-рослинний покрив у більшості МЗЗ м. Києва обумовлює регулювання водного стоку на 60 % та більше, тобто показники ефективності $E_{water_control(g,a)}$ мають рівень вище середніх.

Результати моделювання на загальноміському рівні демонструють, що співвідношення площ різних типів поверхонь у місті визначає середні та близькі до таких можливості щодо водорегулювання. У басейнах таких річок як Красилівка, Мощунка, Горенка, Видриця, Віта природні умови забезпечують водорегулювання на 60-70 %. Водорегулювання за рахунок МЗЗ у 53 % суббасейнів міста не забезпечується й на половину.

Переведення отриманих значень ефективності в обсяги екосистемних послуг засвідчило, що за нинішніх параметрів водного стоку, а також метричних та якісних характеристик, МЗЗ у 10 % випадків надають свій максимум ЕП. Також позитивним є те, що у сьогоденнішніх умовах 70 % МЗЗ здатні надавати ЕП у обсягах вище середніх. В той же час, на загальноміському рівні СЗІ м. Києва надає ЕП в середніх (19 суббасейнів) та нижче середніх (2 суббасейни) обсягах.

5. Висновки


В роботі на основі запропонованої нами раніше методики була проведена кількісна оцінка ефективності МЗЗ у регулюванні водного стоку на прикладі міста Києва з використанням даних ДЗЗ та ГІС-інструментарію з відкритим кодом. Зокрема, була описана процедура проведення оцінки, а також наведено її результати. У роботі визначено параметри окремих зелених зон та СЗІ міста загалом, що впливають на їх ефективність у процесі водорегулювання. На їх основі було проведено кількісну оцінку ефективності у регулюванні водного стоку на локальному (*E_water_control_(g,a)*) та загальноміському (*E_water_control*) рівні. Отримані показники ефективності дозволили визначити обсяги ЕП з регулювання водного стоку, що надають окремі зелені зони та вся міська синьо-зелена інфраструктура.

Здобуті таким чином дані щодо впливу СЗІ міста на регулювання водного стоку в суббасейнах Дніпра та у межах окремих зелених зон становлять цінну інформацію, яка може допомогти містопланувальникам попередити негативні наслідки проходження паводків в масштабах всього міста та окремих його районів. Крім того, визначена ефективність окремих зелених зон є хорошим способом показати їх роль та цінність у регулюванні водного стоку. Це дослідження допомагає також виявити шляхи ефективного проектування СЗІ та вибудувати черговість управлінських рішень для досягнення найбільшого ефекту в управлінні паводками, що, безумовно, є важливим у забезпеченні стійкого розвитку міського довкілля.

6. Подяки

Робота виконувалась у рамках проекту «Технологія геоінформаційного оцінювання надання екосистемних послуг міськими зеленими зонами», що фінансується за рахунок зовнішнього інструмента допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

ORCID iD

Nataliia Korohoda  <https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>

Список посилань

- ALOS Global Digital Surface Model (DSM). (2023). “ALOS World 3D-30m” (AW3D30) Ver.3.2/3.1 [Data set]. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm
- Barth, N.-C., Döll, P. (2016). Assessing the ecosystem service flood protection of a riparian forest by applying a cascade approach. *Ecosystem Services*, 21, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.012>
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N.-E., Herold, M., & Fritz S. (2020). *Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch*

- 2019: Globe (V3.0.1) [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
- Crossman, N. D., Nedkov, S., Brander L. (2019). Discussion paper 7: Water flow regulation for mitigating river and coastal flooding. *Paper submitted to the Expert Meeting on Advancing the Measurement of Ecosystem Services for Ecosystem Accounting*, New York, 22-24 January 2019 and subsequently revised. Version of 1 April 2019. <https://seea.un.org>
- Farrugia, S., Hudson, M. D., McCulloch, L. (2013). An evaluation of flood control and urban cooling ecosystem services delivered by urban green infrastructure. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9, 136–145. <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.782342>
- Harrington, E. C. (1965). The desirable function. *Industrial Quality Control*, 21 (10), 124–131.
- Korohoda, N., Halahan, O., Kovtoniuk O. (2022). The use of GIS and remote sensing data in determining the condition of green areas in Kyiv. *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*. Kyiv, 15–18 November 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
- 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. <https://doi.org/10.15421/112346>
- Korohoda, N., Kovtoniuk, O., Halahan, O., Kupach, T. (2023). Heoinformatsiynе otsynuyvannya ekosystemnykh posluh z kontrolyu shvydkosti eroziyi gruntu u landshaftakh miskykh zelenykh zon [Geoinformation assessment of ecosystem services for controlling the rate of soil erosion in landscapes of urban green zones]. *Journal «Landscape Science»*, 4(2), 54-67 [Корогода, Н. П., Ковтонюк, О. В., Галаган, О. О., Купач, Т. Г. (2023). Геоінформаційне оцінювання екосистемних послуг з контролю швидкості ерозії ґрунту у ландшафтах міських зелених зон. *Ландшафтознавство*, № 4 (2), 54-67]. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-54-67>
- Korohoda, N., & Kupach, T. (2023). Otsinka obsyahiv nadannya kulturnykh ekosystemnykh posluh zelenymy zonamy mista Kyueva [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 [Корогода, Н., Купач, Т. (2023). Оцінка обсягів надання культурних екосистемних послуг зеленими зонами міста Києва. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 58, 159-170]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13>
- Korohoda, N. P. (2023). Otsinka ekosystemnykh posluh zi znyzhennya rivnya shumu vid dorozhnoho rukhu u miskykh landshaftakh [Assessment of ecosystem traffic noise reduction service in the urban landscapes]. *Journal «Landscape Science»*, 3(1), 56-67 [Корогода, Н. П. (2023). Оцінка екосистемних послуг зі зниження рівня шуму від дорожнього руху у міських ландшафтах. *Ландшафтознавство*, 3 (1), 56-67]. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-3-56-67>
- Korohoda, N. P., Pochaievets, O. O. (2024). Metodyka otsinky ekosystemnykh posluh z rehulyuvannya vodnoho stoku [Methods for assessing ecosystem services for water flow regulation]. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(71), 16-30 [Корогода, Н. П., Почаєвць, О. О. (2024). Методика оцінки екосистемних послуг з регулювання водного стоку. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1(71), 16-30]. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.2>

- Korohoda, N., Yatsenko, Yu. (2023). Otsinka ekosystemnykh posluh zi znyzhennya rivniv pylovoho zabrudnennya atmosferneho povitrya mista vzdovzh avtoshlyakhiv [Assessment of ecosystem services to reduce the level of dust pollution in the urban air along roads]. *Physical Geography and Geomorphology*, 46, 1–6 (117–122), 38–46 [Корогода, Н., Яценко Ю. (2023). Оцінка екосистемних послуг зі зниження рівнів пилового забруднення атмосферного повітря міста вздовж автошляхів. *Фізична географія та геоморфологія*, 46, 1–6 (117–122), 38–46]. <https://doi.org/10.17721/phgg.2023.1-6.04>
- Lukianets, O. I., Obodovskyi, O. G., Grebin, V. V., Pochaievets, O. O., Korniienko V. O. (2021). Prostorovi zakonomirnosti zminy serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainy [Spatial regularities of change in average annual water flow of rivers of Ukraine]. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 6–14 [Лук'янець, О. І., Ободовський, О. Г., Гребін, В. В., Почаєвець, О. О., Корнієнко, В. О. (2021). Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. *Український географічний журнал*, 1, 6–14] <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- National Ecosystem Services Classification System (NESCS): Framework Design and Policy Application* (2015). EPA-800-R-15-002. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC., 154 p.
- Nedkov, S., & Burkhard, B. (2012). Flood regulating ecosystem services – Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>
- OpenStreetMap* contributors, www.openstreetmap.org, 2023
- Stürck, J., Poortinga, A., and Verburg, P. H. (2014). Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 38, 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.010>
- Syrbe, R.-U., Walz U. (2012). Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 21, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.013>
- Thomas, H., & Nisbet, T. R. (2007). An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows. *Water and Environment Journal*, 21(2), 114–126. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00056.x>
- Vári, Á., Kozma, Z., Pataki B. et al. (2022). Disentangling the ecosystem service ‘flood regulation’: Mechanisms and relevant ecosystem condition characteristics. *Ambio*, 51, 1855–1870. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01708-0>
- Yang, L., Zhang, L., Li, Y., Wu, S. (2015). Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China). *Landscape and Urban Planning*, 136, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.016>
- 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*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., Zhang, J. (2012). The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 100, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

**Фізична географія та геоморфологія, Том 47, Вип. 3–4 (125–126), 2024. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Науковий журнал. Заснований у 1970 р. Виходить шість разів на рік.
Головний редактор: Наталія Герасименко.**

Physical Geography and Geomorphology, 47, 3–4 (125–126), 2024. Taras Shevchenko National University of Kyiv. Scientific journal. Established in 1970. Published bi-monthly. Editor-in-Chief: Natalia Gerasimenko.

Затверджено до друку вченою радою географічного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Реєстраційне свідоцтво серії КВ №23971-13811 ПР від 11.05. 2019 р.
Комп'ютерна верстка – Ілля Кравчук
Дизайн обкладинки – Євгеній Рогозін

Формат 60x84/8. Ум.-друк. арк. 7,62. Обл.-вид. арк. 8,0. Тираж 100 прим.
Віддруковано у видавництві “Наукова столиця”
вул. Героїв Оборони, 8, Київ 03127
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 5941 від 11.01.2018 р.