

23. Living lakes. URL: <https://livinglakes.org/who-we-are/>
24. Micklin P. The past, present, and future Aral Sea.. Lakes & Reservoirs: Research & Management. 2017. 15 (3). P. 193–213. doi:10.1111/j.1440-1770.2010.00437.x.
25. Pham-Duc B., Sylvestre F., Papa F. et al. The Lake Chad hydrology under current climate change. Scientific Repjhts. 2020. 10. 5498. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62417-w>
26. Preparing Lake (and Watershed) Management Plans. North American Lake Management Association. URL: <https://www.nalms.org/home/lake-management-planning/>
27. Transboundary Lakes and Reservoirs: Status and Trends. ILEC, UNEP. Nairobi, 2016. P. 17. URL:<http://geftwap.org/publications/TWAPVOLUME2TRANSBOUNDARYLAKESANDRESERVOIRS.pdf>
28. Verpoorter C., Kutser T., Seekell D.A., Tranvik L.J. A Global Inventory of Lakes Based on High-Resolution Satellite Imagery // Geophysical Research Letters. 2014. 41. P. 6396-6402. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GL060641>
29. World Lake Database. International Lake Environment Committee. URL: <https://wldb.ilec.or.jp/Foreword>

Management of lakes and their watersheds: global trends

Khilchevskiy V.K.

The article is devoted to the study of the issue of managing lakes and their drainage areas. It is shown that lakes are participants in the global water cycle, regulators of river flow, climate mitigation factors in the region and biodiversity conservation. Lakes, especially large ones, are an important resource in providing livelihoods for communities that depend on water bodies and coastal areas, recreation and public health.

At the same time, the lakes suffer from significant anthropogenic pressure, including on the drainage area. The drying up and degradation of the Aral Sea in Central Asia, once the fourth largest lake in the world, is one of the worst environmental disasters on the planet in the late 20th century. The main reason for this environmental disaster is the influence of anthropogenic factors (70%). A sharp drop in the level of the Aral Sea began in connection with the development of agriculture in the Aral region, primarily due to the intensive cultivation of cotton in irrigated fields. Until the 1960s, the entire water flow of the Amu Darya and Syr Darya rivers, which feed the Aral Sea, was used to irrigate cotton plantations. The construction of numerous reservoirs and canals upset the balance between water supply and evaporation. In Africa, Lake Chad, formerly one of the twenty largest lakes in the world, is degrading.

Management plans for lakes and their catchment areas, which have become widespread around the world since the beginning of the 21st century, are an important mechanism for the sustainable use and protection of water bodies. There are different approaches to creating lake management plans around the world.

In Europe they form part of river basin management plans under the EU WFD, although a number of countries have already established the European Living Lakes Association in 2023, which aims to place lake and wetland conservation on the political agenda.

On other continents, lake management plans are developed as independent documents under the auspices of government bodies with the broad involvement of public organizations. Ukraine, which implements the provisions of the EU WFD in the field of water resources management, should adopt both European and world experience in the sustainable use and protection of lakes.

Key words: lake, lake catchment, lake drying, Living Lakes network, lake management plan.

Надійшла до редколегії 06.02.2024

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.2>

УДК: 91.001.5; 91.001.57

Корогода Н.П., Почасвець О.О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ З РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНОГО СТОКУ

Синьо-зелена інфраструктура (СЗІ) міста в процесі свого функціонування, серед інших екосистемних послуг (ЕП), надає і послуги з регулювання водного стоку. Це не лише економічні вигоди, пов'язані з мінімізацією втрат на пом'якшення паводків, а й екологічні, що полягають в нормалізації колообігу води. Для обґрунтування рішень з попередження або пом'якшення наслідків проходження паводків в містах, вельми важливо кількісно оцінювати ЕП з регулювання водного стоку. Втім, на сьогодні так і не існує універсальної структури та зрозумілого механізму проведення такої оцінки у складних умовах міста. Метою даної роботи стало розроблення методики геоінформаційного оцінювання ЕП з регулювання водного стоку, що їх надають міські зелені зони (МЗЗ) на основі даних дистанційного зондування та використання ГІС-інструментарію з відкритим кодом.

У роботі розроблено методику, в основу якої покладено визначення ефективності виконання водорегулювальної функції, як окремими МЗЗ, так і всією СЗІ міста. Відповідно до індикаторів, що

ISSN:2306-5680 Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2024. № 1 (71)

характеризують умови водорегулювання в межах басейну було обґрунтовано набір розрахункових показників для проведення оцінки. Ними стали характеристики, що визначають обсяги водного стоку, що були узагальнені та об'єднані у єдиний розрахунковий параметр (Fall), 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). Дані параметри дозволяють реалізувати методику оцінювання, що полягає у покроковому встановленні: в межах басейнів малих річок (суббасейнів) показників водного стоку; ефективності виконання водорегулювальної функції у кожній зеленій зоні ($E_{water_control(g_a)}$) та у межах річкових басейнів наявною синьо-зеленою інфраструктурою ($E_{water_control}$). Показники ефективності, на основі функції бажаності Харрінгтона, дозволяють обрахувати обсяги надання ЕП з регулювання водного стоку, як на загальноміському $ES_{water_control(BC)}$, так і локальному $ES_{water_control(g_a)}$ територіальних рівнях. Оцінка, що відбувається за такою методикою може стати корисним інструментом у прийнятті містопланувальних рішень, адже дозволяє ідентифікувати зелені зони, що потребують першочергових дій для покращення їхніх можливостей у забезпеченні регулювання паводків та адаптації територій міст до змін клімату.

Ключові слова: екосистемні послуги, міські зелені зони, регулювання водного стоку.

Вступ, актуальність теми дослідження. Частота повеней, а також збитки, яких вони завдають, в останні десятиліття стабільно збільшуються в усьому світі [30]. Так, зареєстрований збиток від повеней, що складав близько 7 мільярдів доларів США у 1980-х роках, на 2011 рік зріс у 3,5 рази - майже до 24 мільярдів [11]. Дана проблема викликає сильне занепокоєння, оскільки опади, найімовірніше, стануть інтенсивнішими і частішими через зміну клімату. Причому прогнози моделі вказують на збільшення екстремальних опадів у багатьох районах Землі, здебільшого в середніх і високих широтах [16]. Саме в таких районах сконцентровано переважну кількість міського населення, що дедалі частіше нестиме втрати, пов'язані з даною проблемою.

Міські зелені зони (МЗЗ), що являють собою ділянки території вкриті природною а також близькою до неї рослинністю, а також поверхневі водні об'єкти, які в комплексі формують синьо-зелену інфраструктуру (СЗІ) міста, виступають природними резервуарами, що зберігають дощову воду та контролюють рівень ґрунтових вод. Таким чином, СЗІ міста в процесі свого функціонування, серед інших вигод – екосистемних послуг (ЕП), надає містянам і одні з провідних – з регулювання водного стоку. Такі вигоди, отримані від регулювання водного стоку, як: "запобігання повеням", "регулювання водного режиму" та "дренаж і природне зрошення" за міжнародною класифікацією ЕП (CICES), версія 5.1, входять до групи регулювальних послуг під загальною назвою "Гідрологічний цикл і регулювання водного стоку (включаючи боротьбу з повенями та захист прибережних територій) [14].

В урбанізованому просторі екосистемні послуги з регулювання водного стоку – це не лише економічні вигоди, пов'язані з мінімізацією втрат на пом'якшення паводків, а й екологічні, що полягають в нормалізації колообігу води. Адже природний механізм забезпечення ЕП з регулювання водного стоку полягає в тому, що об'єкти СЗІ утримують надлишкову дощову воду зменшуючи поверхневий стік. Зокрема, корені рослин діють як природні губки, дозволяючи воді проникати в ґрунт. Це знижує ризик виникнення або призводить до пом'якшення повеней, сповільнюючи рух води, а також зменшуючи об'єм та швидкість стоку під час сильних опадів. Крім того, на територіях зелених зон протікає природний процес інфільтрації, що сприяє поповненню підземних водоносних горизонтів. Це особливо важливо в міському середовищі, де значна площа території запечатана водонепроникними матеріалами, що призводить до зростання частки поверхневого стоку та зменшення його підземної складової.

Сталість у забезпеченні населення міст ЕП залежить від стійкого функціонування МЗЗ. Обсяги вигод цілком обумовлено станом та властивостями МЗЗ, адже саме вони (наявний рослинний покрив, тип ґрунту тощо), що діють як бар'єр або буфер для водного потоку визначають здатність до регулювання та відповідну спроможність МЗЗ у регулюванні стоку. Оскільки на території міст лише МЗЗ забезпечують дані ЕП [15] захист наявних природних екосистем або їхнє відновлення на територіях МЗЗ можуть бути ефективною стратегією захисту від повеней та адаптації до зміни клімату в урбанізованому середовищі [11]. Втім щоб визначити стратегію проведення природоохоронної політики та першочергові рішення по сталому забезпеченню ЕП з

регулювання водного стоку, необхідно об'єктивно оцінити наявні обсяги послуг, зважаючи на актуальний стан СЗІ міста.

Аналіз виконаних досліджень за означеною темою. В останні роки було опубліковано низку закордонних [15, 21, 23] та українських [9] досліджень, у яких проводились спроби оцінити екосистемні послуги з регулювання стоку води. Основними методами грошової оцінки ЕП, представленими у роботах були розрахунок витрат на заміну і витрат на запобігання збитків [11]. Також проводили негрошову оцінку ЕП. Наприклад, у роботі [29] розглядається потенційна роль заплавних лісів у боротьбі з повенями. У [11] представлено оцінку ЕП у прибережних водно-болотних угіддях (ВБУ) Німеччини. Зокрема, у даній роботі було досягнуто кількісної оцінки функції екосистем з утримання води. У [17] проведено оцінку ЕП у Словаччині: використовуючи модель SWAT, було визначено різницю у впливі на регулювання стоку у різних типах екосистем та визначено грошову вартість ЕП у кожному типі за ймовірністю виникнення повеней та оціночних витрат на боротьбу з ними. Зокрема у даній роботі визначено, що кінцева вартість екосистемних послуг залежить від просторового положення екосистеми. Так, найвищу вартість мають ВБУ, розташовані вздовж водотоків та населених пунктів. Вартість послуг, що надаються лісом, сягає 20 000 євро (у виняткових випадках - 60 000 євро), а вартість луків - близько 10 000 євро (у виняткових випадках - 20 000 євро). Вартість ріллі становить близько 500 євро, вона є вищою лише в тих частинах, які найбільш схильні до повеней (до 7 000 євро).

Для міських територій також було зроблено спроби кількісно оцінити цінність зелених насаджень. Одну з перших спроб було зроблено в Берліні за допомогою фактору площі біотопу. У роботі було оцінено різні типи поверхні відповідно до їхнього екологічного потенціалу [15]. У дослідженні [35] було обраховано економічні вигоди від зменшення стоку за рахунок МЗЗ на прикладі м. Пекін. Такі обрахунки показали, що вигоди сягають 21,77 тис. юанів на гектар.

Основним інструментарієм проведення оцінки наразі є ГІС, а даними, що дедалі активніше використовують - дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Наприклад, у [27] було використано інструмент моделювання Автоматизованої геопросторової оцінки водозбору для оцінки здатності екосистем регулювати паводки в масштабі водозбірного басейну в Болгарії. В Китаї [32] на основі інтерпретації зображень ДЗЗ та практичних досліджень було змодельовано та оцінено регулювання та очищення води, які виконують міські зелені насадження. Отримані на основі супутникових знімків дані, такі як стандартизовані індекси (NDVI, вегетаційний індекс з поправкою на ґрунт, розширений вегетаційний індекс), були використані як індикатори здатності екосистем регулювати водний стік в експертному оцінюванні ЕП [14].

Така кількість наукових досліджень, призвела до того, що наразі існує значна кількість інтегрованих систем моделювання для розрахунку ЕП. Найчастіше оцінка відбувається на основі загальноприйнятих гідрологічних моделей [14]. Наприклад, у [27] картографують попит і пропозицію на регулювання паводків у європейському масштабі, використовуючи гідрологічну модель STREAM [23]. У [31] проводиться порівняння двох традиційних гідрологічних моделей (SWAT і VIC) та модулів двох інструментів ЕП (InVEST та ARIES). Основний висновок, що можна зробити проаналізувавши ці роботи полягає в тому, що традиційні гідрологічні моделі надають більш детальні результати, тоді як інструменти оцінки ЕП, як правило, є більш доступними для неспеціалістів [14].

Мета дослідження. Проаналізувавши стан вивчення питання, стає цілком зрозумілим, що для обґрунтування рішень з попередження або пом'якшення наслідків проходження паводків в містах, вельми важливо серед інших екосистемних послуг кількісно оцінювати ЕП з регулювання водного стоку, що їх надають МЗЗ [15,23]. Задля вирішення даного питання на сьогодні існує значна кількість наукових розробок щодо методичного обґрунтування оцінки ЕП. Втім, проблема оцінки полягає в тому, що вона дуже специфічна для конкретної території [11] і описані підходи часто не можуть бути застосовані на інших. Також недостатньо висвітленим є питання особливостей оцінки міських зелених зон у наданні даної групи ЕП [15]. Тому на сьогодні так і не існує універсальної структури та зрозумілого механізму проведення такої оцінки у складних умовах міста. Крім того, існуючі розробки часто спираються на такі «вхідні параметри» та

алгоритми проведення оцінки, які не є доступними для містопланувальників, що часто обмежені в інформації.

На нашу думку, оцінка має спиратися на доступні дані, зокрема відкриті дані дистанційного зондування. Оцінка повинна продемонструвати як ефективність кожної конкретної МЗЗ, так і всієї наявної СЗІ міста у регулюванні водного стоку, зважаючи на їх актуальний стан. Саме такий інструмент може бути використаний містопланувальниками для визначення першочерговості управлінських рішень для забезпечення сталого розвитку міст. Відповідно метою роботи стало розроблення методики геоінформаційного оцінювання ЕП з регулювання водного стоку, що їх надають МЗЗ на основі даних ДЗЗ та використання ГІС-інструментарію з відкритим кодом.

Матеріали та методи дослідження. Оскільки пропонується методика, технологічно полягає у формуванні бази геоданих (БД) про регіон дослідження та потребує аналізу простороворозподіленої інформації, за основний метод дослідження було обрано геоінформаційне моделювання. За інструментарій просторового аналізу, було обрано середовище QGIS/SAGA(версія QGIS 3.32.1-Lima), що має необхідні базові алгоритми геообробки та модулі для розрахунків ЕП.

Територією тестування методики було обрано м. Київ, тож матеріалами для проведення дослідження стала відкрита картографічна інформація (рис. 1) про:

1. Наявні зелені зони м. Києва, вилучена з бази даних OpenStreetMap та доповнена нами з продуктів [13, 34]. Набори даних ESA WorldCover за 2020 рік з роздільною здатністю 10 м на основі даних Sentinel-1 і Sentinel-2 [34] та Copernicus Land Cover, колекція 3, епоха 2019 року, з просторовою роздільною здатністю 100 м [13] по-перше дозволяють визначити межі просторів, вкритих рослинністю, що не ідентифікуються за даними OpenStreetMap, по-друге - якісні характеристики зелених зон (рис.1 а).

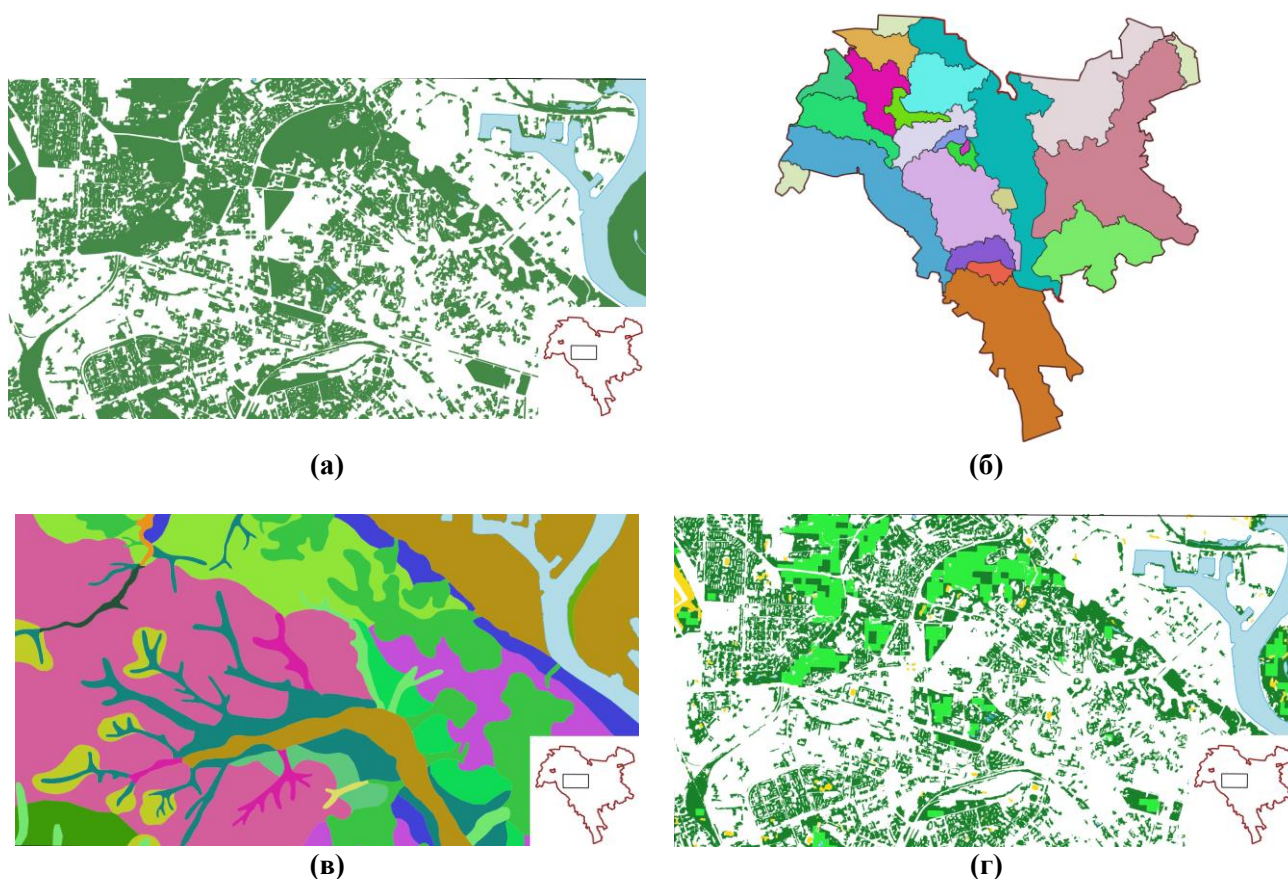


Рис.1. Набір «вхідних» тематичних наборів даних, для оцінки ЕП з регулювання водного стоку (а) – зелені зони, (б) – модельні ділянки (суббасейни), (в) - ґрунти території дослідження, (г) – рослинність території.

2. Рельєф території (DSM) [10], що дозволило визначити межі модельних ділянок – суббасейнів Дніпра в межах Києва (рис.1 б).

3. Ґрунти території дослідження [19] (рис.1 в).

4. Тип та характер розподілу рослинності [13,34] (рис.1 г).

Файлову БД формує набір тематичних векторних та растрових наборів геоданих, а також їх стилі та представлення у форматі GeoPackage відповідно до стандартів Open Geospatial Consortium.

Виклад основного матеріалу. На надання ЕП зеленими зонами у містах впливають як природні, так і антропогенні їх характеристики. Серед антропогенних слід назвати значну частку території вкриту штучними водонепроникними поверхнями, що призводить до зменшення інфільтрації та збільшення стікання поверхневих стоків. З іншого боку - системи водовідведення та дренажу впливають на швидкість та обсяг стоків води з міських територій. Природні опади, температура повітря, вологість та інші показники клімату, що впливають на формування річкового стоку мають прямий вплив на водний баланс у місті. Тож відповідність даним природним та антропогенним характеристикам має стати індикаторами в проведенні оцінки.

Процеси природної фільтрації води є ключовими, серед тих, що визначають обсяги ЕП з регулювання водного стоку. Тож, для об'єктивної оцінки важливо визначити саме ті властивості екосистем (індикатори), що характеризуватимуть їх «ефективність» у забезпеченні даних процесів.

При виборі індикаторів у відповідності до яких проводитиметься оцінка ЕП слід зважати на те, що ефективність передусім залежить від таких властивостей зеленої зони, як: тип рослинності та характер її розподілу, тип ґрунту, розміщення зеленої зони в межах річкового басейну тощо. Щодо останнього, наприклад, у [22] було доведено, що визначальним у регулювання стоку є місце геосистеми у басейні.

Зважаючи на таке, за територіальні одиниці оцінки даної ЕП слід обирати елементи басейнової ландшафтно-територіальної структури (ЛТС) [1]. Оскільки це цілісна за умовами формування водного стоку територія. Ті зелені зони, що зростають в межах одного басейну, для всієї його території визначають умови: формування поверхневого стоку, переведення його частини у внутрішньогрунтовий, зміни рівня ґрунтових тощо. Таким чином, проведення оцінки ЕП в межах річкових басейнів (суббасейнів) допомагає зрозуміти комплексний вплив зелених зон на водорегуляцію та водний баланс в конкретному басейні. Це також дозволяє розробляти стратегії управління водними ресурсами та забезпечувати стійкий розвиток території всього басейну.

Також при проведенні оцінки зважатимемо на:

- *тип рослинності*. Рослинність впливає на водорегулювання за рахунок процесів: евапотранспірації, транспірації, перехоплення тощо [30]. Як йдеться у [26], у разі використання рослинного покриву як додаткової змінної, у моделюванні впливу на водорегулювання кореляційні зв'язки посилюються з 0,62 до 0,74. Як свідчать більшість досліджень, лісові геосистеми є найбільш продуктивними у регулюванні стоку, зокрема дорослий ліс на 60-100% витрачає рухомі запаси вологи ґрунту за типових для більшості територій України кліматичних параметрів [17]. Вплив пасовищ є меншим - 30-70%. Ємність орних земель ще нижча – 20-30%. Адже ліси, як правило, мають великий індекс площі листя, як на рівні крони, так і на землі у вигляді підстилки [33]. На власне транспірацію втрачається близько 60-70%, на фізичне (неробоче) випаровування з поверхні крон - біля 20%, на випаровування з ґрунту -15-18% (дані Тростянецької лісової дослідної станції, Чорноліського опорного пункту). Водночас в умовах агроландшафтів 40% вологи витрачається на випаровування з поверхні ґрунту, а на транспірацію лише 35-40%, на затримання опадів листям - 10-12%, решта 8-15% - на поверхневий стік.

- *Тип ґрунту*, адже інфільтрація тісно пов'язана з такими ґрунтовими характеристиками, як: пористість, водопроникність, вологоємність, вміст органічної речовини тощо [20, 30]. Наприклад, болотні ґрунти мають неоднорідну структуру, що призводить до утворення великого порового простору. Така пористість дозволяє утримувати кількість води, що у 3-9 разів перевищує власну вагу ґрунту [21]. У піщаних і супіщаних ґрунтів вологоємність є найменшою і зростає від 5-10% у піщаних ґрунтах, до

30-45% - у глинистих. Водопроникність же навпаки - найнижчу мають глини і важкі суглинки [6, 7]. Відповідно, ґрунти такого механічного складу здатні уповільнювати інфільтраційні процеси.

Відомості про переважаючі типи земних покривів, ідентифікованих за даними ДЗЗ, було згруповано у роботах [12, 17] і в них визначено воднобалансові показники. Ідентифікований таким чином *тип геосистеми*, який відбиває і тип рослинності, і характер використання території, можна інтерпретувати як інтегральний індикатор в оцінюванні ЕП [30].

Численними роботами доведено, що найкращим для водорегулювання в річковому басейні природних чи наближених до такого стану та антропогенно змінених територій у загальній площі водозбору є співвідношення 1:1 (лісостеп та степ) або 2:1 (Полісся, гірські регіони) [3]. Таким чином, співвідношення різних типів природокористування в межах басейну та/або в долині є індикатором, на який слід зважати у процесі оцінки. Таким чином, характеристики земних покривів та їх співвідношення в межах басейну, тобто *просторова неоднорідність ландшафтних характеристик*, має стати наступним індикатором в оцінці ЕП [28].

Розташування зелених зон у місті і їх просторова організація мають значення для затримки, фільтрації та інфільтрації дощової води. Зелені зони, розташовані ближче до джерел стікання води, можуть ефективніше впливати на її регулювання. Тож, задля уточнення розрахунків та більш повної оцінки в подальших дослідженнях також можуть використовуватись параметри, що визначають стан та якість водоохоронної зони, а саме її ширина, наявність заборонених законом видів діяльності, конструкція захисної смуги, співвідношення природних та змінених територій тощо.

У відповідності до названих індикаторів було розроблено низку розрахункових параметрів для визначення стану та потенціалу зелених зон у виконанні ЕП регулювання водного стоку. Відповідно до індикаторів, що характеризують умови формування стоку, за розрахунковий параметр нами обрано середнє багаторічне значення модуля стоку – «*Fall*». Відповідно до індикатора «*тип рослинності*», що є доступним для ідентифікації за даними ДЗЗ [13, 34] слід класифікувати типи рослинного покриву. Ці відомості дають можливість отримати наступний розрахунковий параметр - коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву « ω_{veg} » (табл.1). Даний коефіцієнт слід використовувати, оскільки у [15] було підтверджено, що інфільтраційна здатність різних типів рослинного покриву є зручним показником, що може використовуватись для оцінки в містах у їх здатності регулювати паводкові води. Правомірність такого показника також доводить те, що його значення в оцінці інфільтраційної здатності було визначено з використанням якісної експертної оцінки на основі інших аналогічних проєктів, виконаних у Мальме, Швеція, Берліні та ін.

Таблиця 1. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву « ω_{veg} » (на основі [15])

Тип рослинності	ω_{veg}
Напівприродний ліс з густим підліском	1
Саджений ліс з густим підліском	0.9
Ліс з рідким підліском	0.8
Чагарникова рослинність	0.85
Парки з рідкими деревними насадженнями	0.7
Газонна та лучна рослинність	0.5

Оскільки територія дослідження знаходиться у різних природних зонах і рослинний покрив формується на різних типах ґрунтів, які також мають різну здатність до регулювання стоку, то для збільшення точності та об'єктивності оцінки слід використовувати і розрахунковий параметр відповідно до індикатору «*тип ґрунту*». Об'єднавши дані про пористість, водопроникність, вологоємність, вміст органічної речовини тощо [6, 7], можна отримати коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту « K_{soil} » (табл. 2), що є наступним з пропонованих розрахункових параметрів.

Таблиця 2. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту «*K_{soil}*» (на основі [6, 7])

Типи і підтипи ґрунтів	Механічний склад			
	Глини і важкі суглинки	Середні і легкі суглинки	Супіски	Піски
	<i>K_{soil}</i>			
Чорноземи типові, звичайні, південні	0,8	1		
Чорноземи вилуговані, опідзолені, солонцюваті, темно-сірі й сірі лісові, темно-каштанові, лучно-чорноземні	0,4	0,6	0,8	
Підзолисті, світло-сірі лісові, світло-каштанові	0,2	0,4	0,6	0,8

Наступним розрахунковим параметром, відповідно до індикатору «просторова неоднорідність ландшафтних характеристик» у найпростішому варіанті може стати частка водонепроникних поверхонь, яка часто виражається у вигляді площ з рослинністю і без рослинності [30]. Але ми вважаємо, що потрібно враховувати всі типи поверхні, та їх властивості. Таким чином просторова неоднорідність ландшафтних характеристик, має бути відображена через коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений типом підстильної поверхні « ω » (табл.3) [15].

Таблиця 3. Коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений типом підстильної поверхні (на основі [15])

Тип підстильної поверхні	ω
Водойми та водотоки	1
Відкритий ґрунт	0.2
Водонепроникні поверхні (будівлі, дорожньо-транспортна, будівельні майданчики, промислова інфраструктура)	0

Зазначені розрахункові параметри дозволяють реалізувати методика оцінки обсягів ЕП з регулювання водного стоку, що як і усіх інші [4, 5, 18, 19, 25], базується на визначенні ефективності виконання даної функції та технологічно полягає у створенні бази геоданих (БД) про формування поверхневого стоку та його регулювання, як окремими зеленими зонами, так і всією наявною СЗІ міста.

Алгоритм реалізації методики полягає у покроковому виконанні наступних завдань:

1. Встановлення в межах басейнів малих річок (суббасейнів) показників водного стоку.

2. Визначення ефективності виконання функції по регулюванню стоку, залежно від актуального стану МЗЗ та антропогенної структури території річкового басейну.

3. Переведення значення ефективності виконання функції у обсяги екосистемних послуг.

Виконання **першого кроку** алгоритму моделювання - встановлення в межах басейнів малих річок показників водного стоку дозволяє визначити умови, у яких зелені зони міста виконують свою функцію регулювання стоку. Для цього слід скористатися даними про середнє багаторічне значення модуля стоку. Для території Києва воно складає 1,50-1,85 л/с км² [8].

Визначення ефективності МЗЗ у виконанні функції, базується на тому, що їх стан та співвідношення різних типів покривів в межах суббасейнів обумовлюють неоднакові можливості щодо регулювання водного стоку. Тож, оцінка має проводитись на двох територіальних рівнях: загальноміському та локальному. На вищому (загальноміському) рівні – оцінці підлягатиме вся СЗІ міста, на локальному – окремі МЗЗ. Виконання водорегулювальної функції кожною зеленою зоною (або СЗІ в межах басейну) нами розглядається як її здатність за свого нинішнього стану (переважаючого типу рослинності та ґрунту та ін.) чинити вплив на регулювання водного стоку, а ефективність виконання функції - як сила її впливу на загальний баланс води в межах басейну. Тож, **на другому кроці** виконання алгоритму на локальному рівні, на основі даних дистанційного

зондування слід визначити характеристики зелених зон, що впливають на їх здатність до регулювання стоку. Дану процедуру слід проводити наступним чином:

- по-перше, на основі [13, 34] встановити тип рослинності у кожній зеленій зоні - та присвоїти йому відповідний коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву (ω_{veg}), на основі даних таблиці 1.

- по-друге, слід уточнити показник ω_{veg} на основі даних ґрунтової карти (або польових ґрунтознавчих досліджень). Для цього необхідно встановити в межах зелених зон коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту (K_{soil}), на основі даних таблиці 2. На основі оверлейних операцій між рослинним та ґрунтовим покривом, визначити однорідні за ґрунтово-рослинним покривом (і-ті) ділянки та встановити у їх межах загальний (обумовлений і рослинним і ґрунтовим покривом) коефіцієнт водорегулювання, за моделлю (1), оскільки саме тип рослинності та ґрунту є провідними факторами водорегулювання (1):

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

де $K_{\omega(i)}$ - коефіцієнт водорегулювання однорідної за ґрунтово-рослинним покривом ділянки; $\omega_{veg(i)}$ - коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений якісними характеристиками рослинного покриву; $K_{soil(i)}$ - коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений властивостями ґрунту.

Оскільки у межах МЗЗ часто представлено набір ділянок, що мають різні показники водорегулювання $K_{\omega(i)}$, то для об'єктивного визначення їх впливу на ефективність регулювання водного стоку в межах зеленої зони слід встановити частку площі, що займає та чи інша однорідна за ґрунтово-рослинним покривом ділянка та визначити сумарний середньозважений за площами показників коефіцієнт водорегулювання для зеленої зони $K_{\omega(g_a)}$ за формулою (2).

$$K_{\omega(g_a)} = \sum K_{\omega(i)} * P_{(i)}, \quad (2)$$

де $K_{\omega(g_a)}$ - коефіцієнт водорегулювання у зеленій зоні; $K_{\omega(i)}$ - коефіцієнт водорегулювання однорідної за ґрунтово-рослинним покривом ділянки; $P_{(i)}$ - частка площі зеленої зони, що займає окрема, однорідна за ґрунтово-рослинним покривом ділянка.

Власне ж ефективність зеленої зони $E_{water_control(g_a)}$ визначатиметься за моделлю (3).

$$E_{water_control(g_a)} = Fall * K_{\omega(g_a)}, \quad (3)$$

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.

Таким чином, при виконанні даного завдання врахованими є всі характеристики зеленої зони, що головню впливають на її ефективність у регулюванні стоку та визначені як індикатори (див вище.).

В основу процедури визначення ефективності водорегулювання в межах басейну можна покласти модель (4), наведену у [15] як таку, що з одного боку є найбільш простою та доступною з точки зору розрахункових показників, з іншого – як таку, що є адаптованою саме для міських територій. Втім, на нашу думку, її слід удосконалити, за рахунок заміни в межах зелених зон показника ω , на $E_{water_control(g_a)}$, що значно точніше відображає водорегулювання в межах зелених зон.

$$GSF_n = \sum \frac{\alpha \omega}{A}, \quad (4)$$

де GSF_n - фактор зелених насаджень для конкретної екосистемної послуги, α - загальна площа конкретного типу покриву; ω - оцінка зелених насаджень конкретного типу покриву за інфільтраційною здатністю; A - загальна площа ділянки [15].

Таким чином на загальноміському рівні на основі даних дистанційного зондування слід визначити характеристики поверхонь в межах басейну, що впливають на водорозподіл в його межах. Для цього на основі [13, 24, 34] визначити типи земних покривів, окрім зелених зон та для кожного типу покриву встановити коефіцієнт водорегулюючої здатності, обумовлений типом підстильної поверхні « ω », на основі даних таблиці 3.

Оскільки неоднорідні за типами поверхонь території мають різні коефіцієнти водорегулюючої здатності ω , то для об'єктивного визначення їх впливу на ефективність регулювання водного стоку в межах басейну слід встановити частку площі, що займають ті чи інші типи поверхонь та визначити сумарний середньозважений за площами показників коефіцієнт водорегулювання для басейну $K_{\omega(b)}$ за формулою (5).

$$K_{\omega(b)} = \sum(K_{\omega(g_a)} * P_{(i)}) + \sum(\omega_{(i)} * P_{(i)}), \quad (5)$$

де $K_{\omega(b)}$ - коефіцієнт водорегулювання у басейні; $K_{\omega(g_a)}$ - коефіцієнт водорегулювання у і-тій зеленій зоні; $\omega_{(i)}$ - коефіцієнт водорегулюючої окремої ділянки, однорідної за типом підстильної поверхні; $P_{(i)}$ - частка площі басейну, що займає окрема і-та ділянка.

Власне ж ефективність СЗІ в межах басейну $E_water_control$ визначатиметься за моделлю (6).

$$E_water_control = Fall * K_{\omega(b)}, \quad (6)$$

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.

Таким чином, при виконанні даного завдання враховано всі природні та антропогенні характеристики, що головно впливають на ефективність СЗІ у регулюванні стоку в межах басейну.

Третім кроком реалізації методики є переведення значень ефективності регулювання стоку у обсяги екосистемної послуги. Така процедура, подібно до робіт [4, 5, 18, 19, 25], має відбуватися на основі емпіричної узагальненої шкали бажаності Е. Харрінгтона. В даному випадку, за шкалою Харрінгтона слід ранжувати значення показників ефективності $E_water_control$ та $E_water_control_{(g_a)}$. У даній роботі застосовано однобічну зростаючу функцію (якість зростає під час зростання показника), де 0 відображає найгіршу якість МЗЗ (СЗІ) (мінімальні обсяги екосистемних послуг, як на загальноміському - $ES_water_control_{(BGI)}$, так і локальному $ES_water_control_{(g_a)}$ територіальних рівнях, а найвищу (максимальні обсяги) – відображає 1 (табл.4).

Таблиця 4. Ранжування показників ефективності виконання функції та обсягів екосистемних послуг з регулювання водного стоку

$E_water_control / E_water_control_{(g_a)}$	$ES_water_control_{(BGI)} / ES_water_control_{(g_a)}$
[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

Таким чином, на основі показників ефективності (формули 3, 6) та функції бажаності Харрінгтона (табл.4), стає можливим визначення обсягів надання ЕП з регулювання водного стоку, як показника якості всієї наявної СЗІ в межах річкового басейну, так і кожної окремої зеленої зони, що і є необхідним у реалізації методики.

Висновки. У роботі відповідно до мети, було розроблено методику оцінки екосистемних послуг з регулювання водного стоку. В основі методики є визначення ефективності виконання відповідної функції, як окремими МЗЗ, так і всією СЗІ міста. Відповідно до індикаторів, що характеризують водорегулювання в межах басейну в роботі було обґрунтовано набір розрахункових показників для проведення оцінки. Ними стали:

характеристики, що визначають обсяги водного стоку, що були узагальнені та об'єднані у єдиний розрахунковий параметр (F_{all}), 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). Дані параметри дозволяють реалізувати методику оцінювання, що полягає у покроковому встановленні: в межах басейнів малих річок (суббасейнів) показників водного стоку; ефективності виконання водорегулювальної функції у кожній зеленій зоні ($E_{water_control_{(g,a)}}$) та у межах річкових басейнів наявною синьо-зеленою інфраструктурою ($E_{water_control}$). Показники ефективності, на основі функції бажаності Харрінгтона, дозволяють обрахувати обсяги надання з регулювання водного стоку як на загальноміському - $ES_{water_control_{(BGI)}}$, так і локальному $ES_{water_control_{(g,a)}}$ територіальних рівнях. Оцінка, що відбувається за такою методикою може стати корисним інструментом у прийнятті містопланувальних рішень, адже дозволяє ідентифікувати зелені зони, що потребують першочергових дій для покращення їхніх можливостей у забезпеченні регулювання паводків та адаптації територій міст до змін клімату.

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

Список літератури

1. Гродзинський, М.Д. Ландшафтна екологія. Київ, Знання, 2014. 550 с.
2. Давидчук, В.С., Зарудна, Р.Ф., Міхелі, С.В., Істоміна, Г.П., Сорокіна, Л.Ю. Збірка географічних карт з описом «Київська область. Ландшафтна карта» (у цифровому форматі, базові масштаби 1:100 000, 1:200 000, 1:400 000) («Ландшафтна карта Київської області»). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 104563. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 14.05.2021. 2021. Авторське право і суміжні права. Офіц. бюл. 65, 50-51. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>
3. Зуб, Л. Створення водоохоронних насаджень вздовж малих річок. 9 практичних порад. 2023. URL: <https://nbs.wwf.ua/stvorennia-vodookhoronnykh-nasadzhen-vzdovzh-malykh-richok-9-praktychnykh-porad/>
4. Корогода, Н. Оцінка стану зелених зон як потенційних можливостей надання ними екосистемних послуг. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2022. Т. 3/4 (84/85), С.34-38. DOI: 10.17721/1728-2721.2022.85.1
5. Корогода, Н., Купач, Т. Оцінка обсягів надання культурних екосистемних послуг зеленими зонами міста Києва. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2023. Вип. 58. С. 159-170. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13>
6. Лозовіцький, П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів. Навчальний посібник К. Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". 2010. 276 с.
7. Лозовіцький, П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів. Підручник. 2014. 528 с.
8. Лук'янець, О.І., Ободовський, О.Г., Гребінь, В.В., Почаєвець, О.О., Корнієнко, В.О. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. *Український географічний журнал*, 2021. №1. С. 6-14. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
9. Соловій, І. Оцінка послуг екосистем, забезпечуваних лісами України, та пропозиції щодо механізмів плати за послуги екосистем. 2016. URL: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation_of_forest_ecosystem_services_and_proposals_on_pes_mechanisms.pdf
10. ALOS Global Digital Surface Model (DSM) "ALOS World 3D-30m" (AW3D30) Ver.3.2/3.1 dataset URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm
11. Barth, N.-C., Döll, P. Assessing the ecosystem service flood protection of a riparian forest by applying a cascade approach. *Ecosystem Services*. 2016. Vol. 21. P. 39–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.012>
12. Breuer, L., Eckhardt, K., Frede, H.-G. Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling*, 2003, Vol. 169. P. 237–293. URL: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00274-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00274-6)

13. Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N-E., Herold, M., & Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
14. Crossman, N.D., Nedkov, S., Brander L. 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. Available at: <https://seea.un.org/events/expert-meeting-advancing-measurement-ecosystem-services-ecosystem-accounting>
15. Farrugia, S., Hudson, M. D., McCulloch, L. An evaluation of flood control and urban cooling ecosystem services delivered by urban green infrastructure. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 2013 Vol. 9. P. 136–145. URL: <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.782342>
16. Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., & Vidale, P. L. Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006. Vol. 111(D6). <https://doi.org/10.1029/2005JD005965>
17. Gallay, I., & Olah, B. Spatial assessment and monetary valuation of flood protection ecosystem service based on risk assessment. An example from the central Slovakia. *The Problems of Landscape Ecology*. 2017. Vol.44, P. 41-52.
18. Korohoda, N., Halahan, O., & Kovtoniuk, O. The use of GIS and Remote Sensing Data in Determining the Condition of Green Areas in Kyiv. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2022, November. Vol. 2022, No. 1, P. 1–5). EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
19. Korohoda, N., Kovtoniuk, O., & Halahan, O. Kyiv green areas: assessment of the functioning efficiency and volumes of ecosystem services for erosion control. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2023, 32 (3), 516-524. URL: <https://doi.org/10.15421/112346>
20. Lange, B., Germann, P. F., & Lüscher, P. Greater abundance of *Fagus sylvatica* in coniferous flood protection forests due to climate change: impact of modified root densities on infiltration. *European Journal of Forest Research*. 2013. Vol.132, P.151-163. URL: <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0664-z>
21. Ming, J., Xian-guo, L., Lin-shu, X., Li-juan, C., Shouzheng, T. Flood mitigation benefit of wetland soil – A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*. 2007. Vol. 61, P. 217- 223. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.019>
22. Nagy, J., Kiss, T., Fehérváry, I., & Vaszkó, C. Changes in floodplain vegetation density and the impact of invasive *Amorpha fruticosa* on flood conveyance. *Journal of Environmental Geography*, 2018. Vol.11(3-4), P. 3-12. <https://doi.org/10.2478/jengeo-2018-0008>
23. Nedkov, S., & Burkhard, B. Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 21, P. 67-79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>
24. OpenStreetMap contributors, www.openstreetmap.org. 2022
25. Pochaievets, O. Korohoda, N. The use of GIS and remote sensing data for assessing ecosystem services for hydrological cycle and water flow regulation. *XVII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" 7 - 10 November 2023, Kyiv, Ukraine*. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2023/11/Mon23-115.pdf>
26. Schmittner, K. E., & Giresse, P. Modelling and application of the geomorphic and environmental controls on flash flood flow. *Geomorphology*, 1996. Vol.16(4), P. 337-347. URL: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(96\)00002-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(96)00002-5)
27. Stürck, J., Poortinga, A., and Verburg, P. H. Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 2014. Vol. 38, P.198-211. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.010>
28. Syrbe, R.-U., Walz, U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 21, P. 80–88 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.013>
29. Thomas, H., & Nisbet, T. R. An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows. *Water and Environment Journal*, 2007. Vol. 21(2), P. 114-126. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00056.x>
30. Vári, Á., Kozma, Z., Pataki, B. et al. Disentangling the ecosystem service ‘flood regulation’: Mechanisms and relevant ecosystem condition characteristics. *Ambio*. 2022. Vol. 51. P. 1855–1870. URL: <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01708-0>
31. Vigerstol K.L., Aukema J.E. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2011. Vol. 92, P. 2403–2409 URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.040>

32. Yang, L., Zhang, L., Li, Y., Wu, S. Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China). *Landscape and Urban Planning*, 2015. Vol.136. P 40-51. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.016>

33. Zagyvai-Kiss, K. A., Kalicz, P., Szilágyi, J., & Gribovszki, Z. On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019. Vol. 278, P. 107656. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107656>

34. 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. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>

35. Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., Zhang, J. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 2012. Vol. 100, P. 65-71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

References

1. Grodzynski M.D. Landshaftna ekolohiya [Landscape ecology]. Kyiv, Znannya, 2014. 550 s.
2. Davydchuk, V.S., Zarudna, R.F., Mikheli, S.V., Istomina, G.P., Sorokina, L.Yu. Zbirka heorafichnykh kart z opysom «Kyyivs'ka oblast'. Landshaftna karta» (u tsyfrovomu formati, bazovi mashtaby 1:100 000, 1:200 000, 1:400 000)» («Landshaftna karta Kyyivs'koyi oblasti») [Collection of geographic maps with the description "Kyiv region. Landscape map" (in digital format, base scales 1:100 000, 1:200 000, 1:400 000) ("Landscape map of Kyiv region")]. Certificate of copyright registration for the work No. 104563. State Enterprise "Ukrainian Intellectual Property Institute ". Date of registration: 14.05.2021. 2021. Copyright and related rights. Official Bulletin. 65, 50-51. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>
3. Zub, L. Ctvorennia vodookhoronnykh nasadzen' vzdovzh malykh richok. 9 praktychnykh porad [Creation of water protection plantations along small rivers. 9 practical tips]. 2023. URL: <https://nbs.wvf.ua/stvorennia-vodookhoronnykh-nasadzen-vzdovzh-malykh-richok-9-praktychnykh-porad/>
4. Korohoda, N. Otsinka stanu zelenykh zon yak potentsiynykh mozhlyvostey nadannya nymy ekosystemnykh posluh [Assessment of the green areas condition as potential opportunities to providing ecosystem services]. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya*. 2022. Vol. 3/4 (84/85), P.34-38 DOI: 10.17721/1728-2721.2022.85.1
5. Korohoda N., Kupach T. Otsinka obsyahiv nadannya kul'turnykh ekosystemnykh posluh zelenymy zonamy mista Kyieva. [Assessment of the volume of provision of cultural ecosystem services by Kyiv green zones]. 2023. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, No. 58, P. 159-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13>
6. Lozovits'kyi, P.S. Vodni ta khimichni melioratsiyi gruntiv. Navchal'nyy posibnyk [Water and chemical land reclamation. Study guide]. K. Vydavnycho-polihrafichnyy tsentr "Kyyivs'kyi universytet". 2010. 276 s.
7. Lozovits'kyi, P.S. Melioratsiya gruntiv ta optymizatsiya gruntovykh protsesiv. Pidruchnyk [Land reclamation and optimization of soil processes. Textbook]. 2014. 528 s.
8. Lukianets, O. I., Obodovskyi, O. G., Grebin, V. V., Pochaievets, O. O., Korniienko V. O. Prostorovi zakonomirnosti zminy seredn'oho richnoho stoku vody richok Ukrayiny [Spatial regularities of change in average annual water flow of rivers of Ukraine]. *Ukrainian Geographical Journal*, 2021. №1. P. 6-14. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
9. Soloviy, I. Otsinka posluh ekosystem, zabezpechuvanykh lisamy Ukrayiny, ta propozytsiyi shchodo mekhanizmiv platy za posluhy ekosystem.[Evaluation of forest ecosystem services provided by forests of Ukraine and proposals on PES mechanisms]. 2016. Available at: URL: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation_of_forest_ecosystem_services_and_proposals_on_pes_mechanisms.pdf
10. ALOS Global Digital Surface Model (DSM) "ALOS World 3D-30m" (AW3D30) Ver.3.2/3.1 dataset URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm
11. Barth, N-C., Döll, P. Assessing the ecosystem service flood protection of a riparian forest by applying a cascade approach. *Ecosystem Services*. 2016. Vol.21. P. 39–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.012>
12. Breuer, L., Eckhardt, K., Frede, H-G. Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling*, 2003, Vol. 169. P. 237–293. URL: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00274-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00274-6)
13. Buchhorn, M, Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N-E., Herold, M., & Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>

14. Crossman, N.D., Nedkov, S., Brander L. 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. Available at: <https://seea.un.org/events/expert-meeting-advancing-measurement-ecosystem-services-ecosystem-accounting>
15. Farrugia, S., Hudson, M. D., McCulloch, L. An evaluation of flood control and urban cooling ecosystem services delivered by urban green infrastructure. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 2013 Vol. 9. P. 136–145. URL: <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.782342>
16. Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., & Vidale, P. L. Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006. Vol. 111(D6). URL: <https://doi.org/10.1029/2005JD005965>
17. Gally, I., & Olah, B. Spatial assessment and monetary valuation of flood protection ecosystem service based on risk assessment. An example from the central Slovakia. *The Problems of Landscape Ecology*. 2017. Vol.44, P. 41-52.
18. Korohoda, N., Halahan, O., & Kovtoniuk, O. The use of GIS and Remote Sensing Data in Determining the Condition of Green Areas in Kyiv. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2022, November. Vol. 2022, No. 1, P. 1–5). EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
19. Korohoda, N., Kovtoniuk, O., & Halahan, O. Kyiv green areas: assessment of the functioning efficiency and volumes of ecosystem services for erosion control. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2023, 32 (3), 516-524. URL: <https://doi.org/10.15421/112346>
20. Lange, B., Germann, P. F., & Lüscher, P. Greater abundance of *Fagus sylvatica* in coniferous flood protection forests due to climate change: impact of modified root densities on infiltration. *European Journal of Forest Research*. 2013. Vol.132, P.151-163. URL: <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0664-z>
21. Ming, J., Xian-guo, L., Lin-shu, X., Li-juan, C., Shouzheng, T. Flood mitigation benefit of wetland soil – A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*. 2007. Vol. 61, P. 217- 223. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.019>
22. Nagy, J., Kiss, T., Fehérvári, I., & Vaszkó, C. Changes in floodplain vegetation density and the impact of invasive *Amorpha fruticosa* on flood conveyance. *Journal of Environmental Geography*, 2018. Vol.11(3-4), P. 3-12. URL: <https://doi.org/10.2478/jengeo-2018-0008>
23. Nedkov, S., & Burkhard, B. Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 21, P. 67-79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>
24. OpenStreetMap contributors, www.openstreetmap.org. 2022
25. Pochaievets, O. Korohoda, N. The use of GIS and remote sensing data for assessing ecosystem services for hydrological cycle and water flow regulation. *XVII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" 7 - 10 November 2023, Kyiv, Ukraine* URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2023/11/Mon23-115.pdf>
26. Schmittner, K. E., & Giresse, P. Modelling and application of the geomorphic and environmental controls on flash flood flow. *Geomorphology*, 1996. Vol.16(4), P. 337-347. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(96\)00002-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(96)00002-5)
27. Stürck, J., Poortinga, A., and Verburg, P. H. Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 2014. Vol. 38, P.198-211. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.010>
28. Syrbe, R.-U., Walz, U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 21, P. 80–88 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.013>
29. Thomas, H., & Nisbet, T. R. An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows. *Water and Environment Journal*, 2007. Vol. 21(2), P. 114-126. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00056.x>
30. Vári, Á., Kozma, Z., Pataki, B. et al. Disentangling the ecosystem service ‘flood regulation’: Mechanisms and relevant ecosystem condition characteristics. *Ambio*. 2022. Vol. 51. P. 1855–1870. URL: <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01708-0>
31. Vigerstol K.L., Aukema J.E. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2011. Vol. 92, P. 2403–2409 URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.040>
32. Yang, L., Zhang, L., Li, Y., Wu, S. Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China). *Landscape and Urban Planning*, 2015. Vol.136. P 40-51. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.016>

33. Zagyvai-Kiss, K. A., Kalicz, P., Szilágyi, J., & Gribovszki, Z. On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019. Vol. 278, P. 107656. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107656>
34. 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. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>
35. Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., Zhang, J. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 2012. Vol. 100, P. 65-71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

Methods for assessing ecosystem services for water flow regulation

Korohoda N.P., Pochaievets O.O.

In the course of its functioning, the city's blue-green infrastructure (BGI), among other ecosystem services (ES), provides water flow regulation services. These are not only economic benefits associated with minimizing flood mitigation losses, but also environmental benefits, which include the normalization of the water cycle. To justify decisions on preventing or reducing the effects of floods in cities, it is very important to quantify the ES of water flow regulation. However, to present time, there is no universal structure and clear mechanism for conducting such an assessment in difficult urban conditions. The purpose of this study is to develop a methodology for geoinformation assessment of water flow regulation ES provided by urban green spaces (UGS) based on remote sensing data using open-source GIS tools.

In accordance with the goal, the study developed a methodology based on determining the effectiveness of the relevant function of both individual UGS and the entire city's BGI. In accordance with the indicators that characterize the properties of green spaces that mainly affect water regulation within the basin, a set of estimated indicators for the assessment was substantiated. These are the characteristics that determine the volume of water runoff, which were generalised and combined into a single calculation parameter (Fall), the coefficient of water regulating capacity due to the quality characteristics of vegetation cover (w_{veg}); the coefficient of water regulating capacity due to soil properties (K_{soil}); the coefficient of water regulating capacity due to the type of underlying surface (w). These parameters make it possible to implement an assessment methodology that consists in the step-by-step determination of: water flow indicators within small river basins (sub-basins); the efficiency of performing the water flow control function of each individual green area ($E_{water\ control(q,a)}$), and the efficiency of water flow control within the river basin by all available BGI within its boundaries ($E_{water\ control}$). Effectiveness indicators, based on the Harrington's desirability function, allow to determine the volume of ES water control provision ($ES_{water\ control(BGI)} / ES_{water\ control(q,a)}$). The assessment based on this methodology can be a useful tool in urban planning decision-making. It allows identifying green areas that require priority actions to improve their capacity to provide flood control and adaptation of urban areas to climate change.

Keywords: ecosystem services, urban green spaces, water flow regulation.

Надійшла до редколегії 13.12.2023