

**Андрій Михайлович Бридун¹, Марія Володимирівна Чоботаєва²,
Андрій Романович Согор³, Наталія Петрівна Ярема⁴**

¹кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: andrii.m.brydun@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5634-0512>

ResearcherID: [AAC-1271-2020](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512). **Scopus Author ID:** [57212560353](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512)

²студентка 2-го магістерського рівня вищої освіти Інституту геодезії
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: mariia.chobotaieva.mhdhm.2025@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-1745-7180>

³кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0084-9552>

ResearcherID: [ABI-6288-2020](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552). **Scopus Author ID:** [57224950613](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552)

⁴кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: nataliia.p.yarema@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5796-2038>

Scopus Author ID: [57218923725](https://orcid.org/0000-0002-5796-2038)

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ У МЕЖАХ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ТА ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ

Проблема забруднення річок є актуальною вже багато років, проте за останнє десятиліття наслідки стають все більш помітні, тому метою цієї наукової праці є висвітлення даної проблеми. Річка Південний Буг є важливою водною артерією Центральної України, що забезпечує водопостачання, гідроенергетику, рибацтво та рекреацію. Попри значну екологічну цінність, річка стикається з численними екологічними проблемами, пов'язаними з антропогенними навантаженнями та змінами клімату. Ця робота присвячена дослідженню екологічного стану річки Південний Буг на території Хмельницької та Вінницької областей з використанням картографічних методів. У роботі проаналізовано основні джерела забруднення річки, такі як промислові та сільськогосподарські стоки, урбанізація, неорганізоване сміттєзвалище, а також вплив зміни клімату на водний режим річки. Проведено комплексне оцінювання якості води на основі гідрохімічних, біологічних та радіологічних показників з акцентом на використання геоінформаційних систем (ГІС) для створення тематичних карт та аналізу екологічної ситуації. Картографічні методи дозволили візуалізувати просторовий розподіл забруднень, оцінити ступінь впливу різних факторів на екосистему річки та визначити найбільш проблемні ділянки.

Ключові слова: річка Південний Буг; екологічний стан; геоінформаційні технології; екологічний моніторинг; забруднення; антропогенні чинники; управління водними ресурсами.

Рис.: 4. Бібл.: 18.

Постановка проблеми. Екологічні проблеми водних ресурсів є одними з найбільш актуальних сьогодні, оскільки забруднення водних об'єктів негативно впливає на стан екосистем, здоров'я людини та економічну діяльність регіонів. Річка Південний Буг є однією з важливих водних артерій центральної України, яка протікає через кілька областей, зокрема Хмельницьку та Вінницьку. Вона забезпечує водою значну частину населення, а також має важливе значення для сільського господарства, промисловості та рекреаційних потреб. Однак діяльність людини, зокрема промислові викиди, сільське господарство та несанкціоновані скиди, спричиняють забруднення вод річки, що ставить під загрозу її екологічний стан.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екологічний стан водних об'єктів може змінюватися під впливом природних та антропогенних факторів, і картографія є потужним інструментом для регулярного моніторингу цих змін. Даною проблематикою займалися [3; 4]. Створення тематичних карт на основі даних, зібраних протягом певного періоду, дозволяє оцінювати динаміку змін екологічного стану річок, водосховищ чи інших водних об'єктів. Це дозволяє вчасно виявити негативні тенденції, такі як зростання забруднення води або зниження чисельності водних видів, і вжити необхідних заходів для їх усунення. Таку проблему досліджували у працях [6; 7]. Картографічні

дані можуть використовуватися для прогнозування майбутніх змін в екологічному стані водних об'єктів, зокрема, для оцінки впливу різних факторів, таких як скиди забруднюючих речовин, зміни клімату або урбанізація. Цю проблематику вивчали дослідники [9; 10]. За допомогою карт можна моделювати різні сценарії розвитку подій і на основі отриманих результатів розробляти стратегії управління водними ресурсами. Наприклад, за допомогою карт можна визначити зони, де забруднення може збільшитись у разі посилення антропогенного навантаження, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози. Таку тематику вивчали дослідники [12; 14; 15]. Картографія є важливим інструментом для прийняття рішень в екологічному управлінні та плануванні. Створення екологічних карт допомагає органам влади, підприємствам та екологічним організаціям ухвалювати обґрунтовані рішення щодо використання водних ресурсів, регулювання забруднення, відновлення екосистем чи розвитку природоохоронних заходів. Наприклад, карти, що відображають ступінь забруднення води, можуть бути використані для розробки планів з очищення води чи для визначення пріоритетних ділянок для екологічного відновлення. Такі дослідження наведені в працях [3; 16; 17; 18].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Карти є важливим інструментом для підвищення обізнаності громадськості щодо екологічного стану водних об'єктів. Вони можуть бути використані для демонстрації впливу людської діяльності на навколишнє середовище, зокрема, для показу результатів забруднення річок та інших водних ресурсів [16; 17]. Це допомагає мобілізувати громаду, організації та місцеві органи влади для вжиття необхідних заходів і стимулює розвиток екологічної свідомості серед населення. Картографія в екологічних дослідженнях тісно інтегрується з іншими науковими методами, такими як аналіз хімічного складу води, біологічні дослідження, моніторинг флори та фауни водних екосистем. Завдяки геоінформаційним системам (ГІС) можна об'єднати різноманітні типи даних на одній карті, що дає змогу отримати комплексне уявлення про екологічний стан водних об'єктів [3; 18]. Це дозволяє розглядати екосистеми як цілісні системи, у яких кожен елемент має своє значення і взаємодіє з іншими компонентами. Наявність детальних карт екологічного стану водних об'єктів спрощує процес прийняття рішень на всіх рівнях управління. Вони можуть використовуватися як основа для розробки нормативних актів, що регулюють використання водних ресурсів, для організації робіт з очищення води, а також для планування розвитку інфраструктури в районах, що знаходяться поблизу водних ресурсів [1; 2; 5].

Мета статті. Метою даної роботи є розробка картографічної моделі екологічного стану річки Південний Буг в межах Хмельницької та Вінницької областей, а також оцінка рівня забруднення водних ресурсів та їхнього впливу на екосистему. Одним з основних етапів обробки даних було створення карт, які наочно відображають результати екологічного моніторингу. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити низку задач, а саме аналіз екологічного стану річки Південний Буг, розробка методики картографування екологічного стану річки Південний Буг, оцінка впливу антропогенних факторів на екологічний стан водних ресурсів. Ці задачі спрямовані на глибоке вивчення екологічного стану річки Південний Буг та на розробку детальних картографічних і аналітичних матеріалів, що можуть бути корисними для подальших досліджень і ухвалення управлінських рішень у галузі охорони водних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Картографування екологічного стану водних об'єктів є важливим інструментом для моніторингу та оцінки впливу антропогенних та природних факторів на водні ресурси. Воно дозволяє систематизувати інформацію, здійснювати порівняльний аналіз, а також надавати візуальну оцінку стану водних екосистем, що є важливим для розробки ефективних управлінських та екологічних заходів.

Картографування екологічного стану водних об'єктів – це процес створення карт, які відображають різні аспекти стану водних ресурсів, зокрема, якість води, рівень забруднення, біорізноманіття водних екосистем та інші екологічні характеристики. Воно сприяє виявленню проблемних ділянок, оцінці динаміки змін у часі та допомагає у плануванні заходів щодо охорони водних ресурсів.

Екологічний стан водного об'єкта зазвичай оцінюється за допомогою низки показників, зокрема (рис. 1):

- хімічних (концентрація забруднюючих речовин),
- фізичних (температура, прозорість води),
- біологічних (диверситет видів, стан водних організмів).



Рис. 1. Показники стану забруднення водних об'єктів

У межах дослідження картографування екологічного стану річки Південний Буг на прикладі Хмельницької та Вінницької областей важливими є ефективні методи збору та обробки інформації, які дозволяють отримати точні та актуальні дані про стан водних ресурсів. Розглянемо методи збору даних, а також методи їх обробки, що використовуються для картографування екологічного стану водних об'єктів. Інформацію про екологічний стан річки Південний Буг ми отримали завдяки використанню різних методів збору даних. Основні методи включають польові дослідження, аналіз вторинних джерел інформації та використання геоінформаційних систем (ГІС).

Польові дослідження є одним з основних методів збору первинної інформації про екологічний стан водних об'єктів. Цей метод дозволяє отримати дані безпосередньо на місці, що забезпечує високу точність та актуальність інформації. Для дослідження екологічного стану річки Південний Буг в межах Хмельницької та Вінницької областей передбачено проведення таких етапів:

- Збір проб води. Для оцінки якості води річки здійснюється збір проб води на визначених контрольних точках. Зразки води аналізуються на наявність фізико-хімічних характеристик (рН, температура, концентрація розчинених речовин, вміст забруднюючих компонентів, таких як нітрати, фосфати, важкі метали тощо).

- Біологічний моніторинг. Оцінка стану біорізноманіття водних організмів, таких як фітопланктон, зоопланктон, водорості та інші водні види. Це дозволяє визначити рівень забруднення води та ступінь її здатності підтримувати здорові екосистеми.

- Оцінка гідрологічних характеристик. Визначення рівня води, швидкості течії, глибини річки та інших фізичних параметрів, які можуть впливати на екологічний стан водного об'єкта.

- Інтерв'ювання місцевих жителів та користувачів водних ресурсів. Збір додаткової інформації від місцевих жителів та користувачів річки (фермери, промисловці, органи влади) щодо змін у водному режимі та екологічних проблемах.

Другим важливим методом збору інформації є використання вже наявних даних, що дозволяє оцінити екологічний стан річки в минулому та на даний час. До таких джерел належать:

- Офіційні звіти та документи. Дані про стан водних ресурсів на території Хмельницької та Вінницької областей ми отримали з офіційних звітів та досліджень, що публікуються органами екологічного контролю, такими як Міністерство екології та природних ресурсів України [1], управління водними ресурсами, екологічні інспекції тощо.

- Наукові праці та статті. Використання результатів попередніх досліджень річки Південний Буг та її екологічного стану, що публікуються у наукових журналах, статтях, монографіях.

- Спостереження та моніторинг. Використання результатів довгострокового моніторингу стану води, проведеного державними та приватними установами.

Третім потужним інструментом для збору, обробки та аналізу просторових даних, що дозволяє створювати карти екологічного стану річки Південний Буг, є ГІС. Основні етапи використання ГІС [2]:

- Збір просторових даних. Використання картографічних матеріалів, знімків супутників, аерофотознімків, а також даних від систем моніторингу забруднення для побудови базових карт.

- Інтеграція даних. Об'єднання різних типів даних (фізико-хімічні характеристики води, географічні дані, біологічні показники) на одній платформі для комплексного аналізу.

- Просторовий аналіз. Використання ГІС для визначення найбільш забруднених ділянок річки, оцінки змін в екологічному стані води та прогнозування майбутніх тенденцій.

Обробка зібраної інформації є важливим етапом, який включає в себе систематизацію, аналіз і побудову карт, що дозволяють наочно відобразити екологічний стан річки Південний Буг. Для оцінки екологічного стану води та виявлення закономірностей у забрудненні ми використали статистичний аналіз зібраних даних, який включав такі етапи:

- Оцінка середніх значень та відхилень для основних показників якості води (рН, вміст токсичних речовин тощо).

- Кореляційний аналіз для виявлення зв'язку між різними екологічними факторами, такими як рівень забруднення та біорізноманіття.

- Аналіз часу для порівняння зміни екологічного стану води на різних етапах дослідження.

Для формування картографічного матеріалу використовувались авторитетні джерела даних, зокрема офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України – Екомоніторинг України [5], з цього сайту було взято інформацію про екологічний стан водойми, рівень забруднення річки Південний Буг та інші важливі параметри. Також було використано дані з сайту Водних інформаційних систем України (WISU) [1]. На рис. 2 зображено цифрову платформу, яка надає відкритий доступ до даних про водні ресурси України.

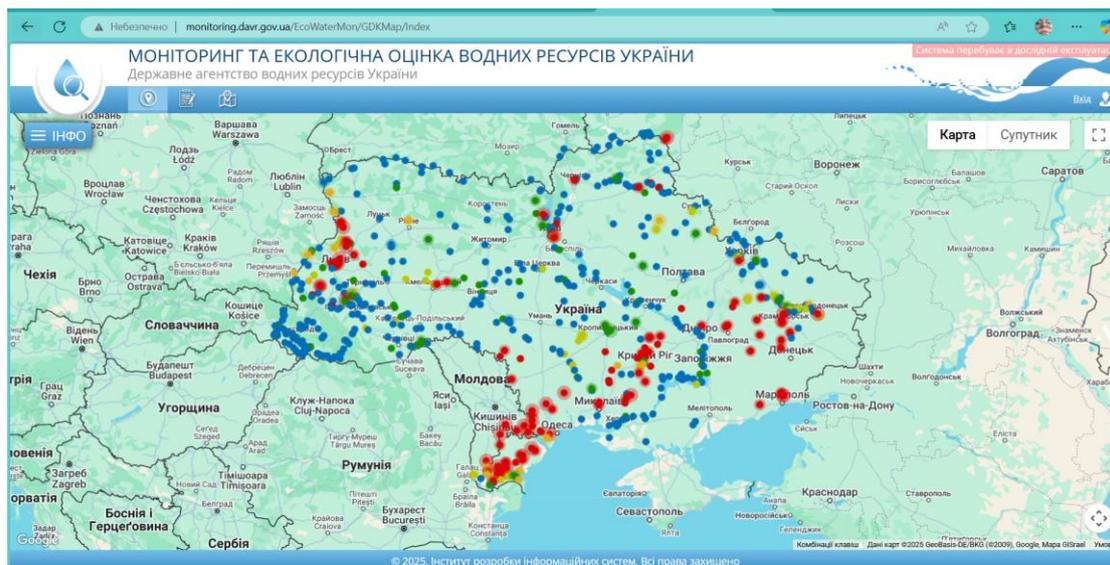


Рис. 2. Онлайн моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України на сайті WISU

Візуальну геометрію русла річки отримано з відкритої картографічної платформи OpenStreetMap, яка слугувала основою для побудови векторного шару в ArcGIS Pro.

Для додаткової інформації щодо забруднень використовувалися європейські бази Data on Water Watch (DWW) у межах EIONET [8; 11; 13], що дозволили отримати дані згідно з міжнародними екологічними стандартами. Усі ці дані були ретельно проаналізовані, відфільтровані та приведені до спільного формату, зокрема у вигляді shapefile, geojson та CSV-таблиць, що дало змогу їх ефективно використовувати у ГІС-середовищі.

Інтерактивна вебкарта забруднення річки Південний Буг була розроблена з використанням програмного середовища «Notepad++» та «ArcGIS Pro». У контексті роботи Notepad++ використовувався для створення та редагування таблиць даних у форматі CSV, які містять інформацію про заміри якості води річки Південний Буг (наприклад, показники рівня забруднення, координати точок відбору проб). Ці дані були структуровані для подальшого імпорту в ArcGIS Pro.

У програмі ArcGIS Pro було створено векторний шар типу line та polyline, який відображає русло річки Південний Буг на ділянці Хмельницької та Вінницької областей. Процес оцифрування включав трасування русла за даними OpenStreetMap, уточнення геометрії за супутниковими знімками та офіційними картографічними ресурсами.

В атрибутивній таблиці кожного об'єкта було вказано адміністративну приналежність, координати початку та кінця лінії, протяжність, а також інші характеристики, які допомагають краще описати просторові властивості річки.

Для створення інтерактивної вебкарти забруднення річки Південний Буг дані спочатку були підготовлені в Notepad++ у форматі CSV, де вказувалися координати точок забруднення, показники вмісту забруднюючих речовин (наприклад, нітрати, фосфати, важкі метали) та дати вимірювань. Ці дані були імпортовані в ArcGIS Pro, де проведено їх просторовий аналіз та візуалізацію.

Також окремо було здійснено візуалізацію зон забруднення річки. За даними WISU, офіційного сайту Міністерства захисту довкілля та європейських баз DWW, було визначено моніторингові точки з перевищенням допустимих норм забруднення різними речовинами – азотом, фосфором, нафтопродуктами, важкими металами та іншими шкідливими компонентами. Ці ділянки позначено на карті як точкові об'єкти, які мають різне кольорове кодування залежно від типу забруднення, що дозволяє швидко ідентифікувати проблемні зони. Атрибутивна інформація містить дані про дату вимірювань, тип забруднення, концентрації та джерела забруднення, що додає глибини і контексту до створеної карти.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <head>
4 <title>Забруднення річки Південний Буг</title>
5 <meta charset="utf-8" />
6 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
7 <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.9.3/dist/leaflet.css" />
8 <style>
9   #map { height: 600px; }
10  .year-selector {
11    margin: 10px;
12    font-size: 16px;
13  }
14  .legend {
15    background: white;
16    padding: 10px;
17    line-height: 1.5;
18    border-radius: 5px;
19    box-shadow: 0 0 5px rgba(0,0,0,0.3);
20    font-size: 14px;
21  }
22  .legend i {
23    display: inline-block;
24    width: 12px;
25    height: 12px;
26    margin-right: 6px;
27    border-radius: 50%;
28  }
29  .controls {
30    margin: 10px;
31  }
32 </style>
33 </head>
34 <body>
35
36 <h2>Зміна рівня забруднення річки Південний Буг (2000-ті – 2020-ті роки)</h2>
37 <div class="controls">
38 <select class="year-selector" id="yearSelect">
39 <option value="2003">2003</option>
40 <option value="2010">2010</option>
41 <option value="2022">2022</option>
42 <option value="2023">2023</option>
43 <option value="2025">2025</option>
44 </select>
45 <button id="playBtn">▶ Анімація</button>
46 </div>
47 <div id="map"></div>

```

Рис. 3. Кодування HTML-карти в середовищі Notepad++

Для відображення отриманих результатів роботи у зручному форматі було створено веб-карту у вигляді HTML-документа, редагованого у середовищі Notepad++. В HTML-коді реалізована базова структура вебсторінки з інтерактивними елементами, які дозволяють переглядати розташування забруднених ділянок, а також взаємодіяти з ними через вигулькові інформаційні вікна.

Для порівняння зростання або зменшення забруднень карту зроблено за різними роками, а саме, за 2003, 2010, 2022, 2023 та 2025 рр. Для візуального відображення маркерів використано стилі CSS та SVG-елементи. Такий підхід дозволив отримати легкий та доступний формат карти, який можна розміщувати на будь-якому вебресурсі без складної серверної інфраструктури, що значно полегшує доступ користувачів до екологічної інформації.

Результатом наших досліджень стала карта зміни рівня забруднення річки Південний Буг станом на 2003, 2010, 2022, 2023 та 2025 рр. (рис. 4).

Комплексна оцінка результатів досліджень. На основі багаторічних даних екологічного моніторингу та просторового аналізу в межах Хмельницької та Вінницької областей встановлено, що річка Південний Буг зазнає суттєвого антропогенного навантаження. Результати картографування засвідчили зростання концентрацій основних забруднювачів (нітрати, фосфати, важкі метали, нафтопродукти) в ряді локацій, зокрема поблизу населених пунктів, промислових об'єктів та в зоні інтенсивного сільськогосподарського землекористування.

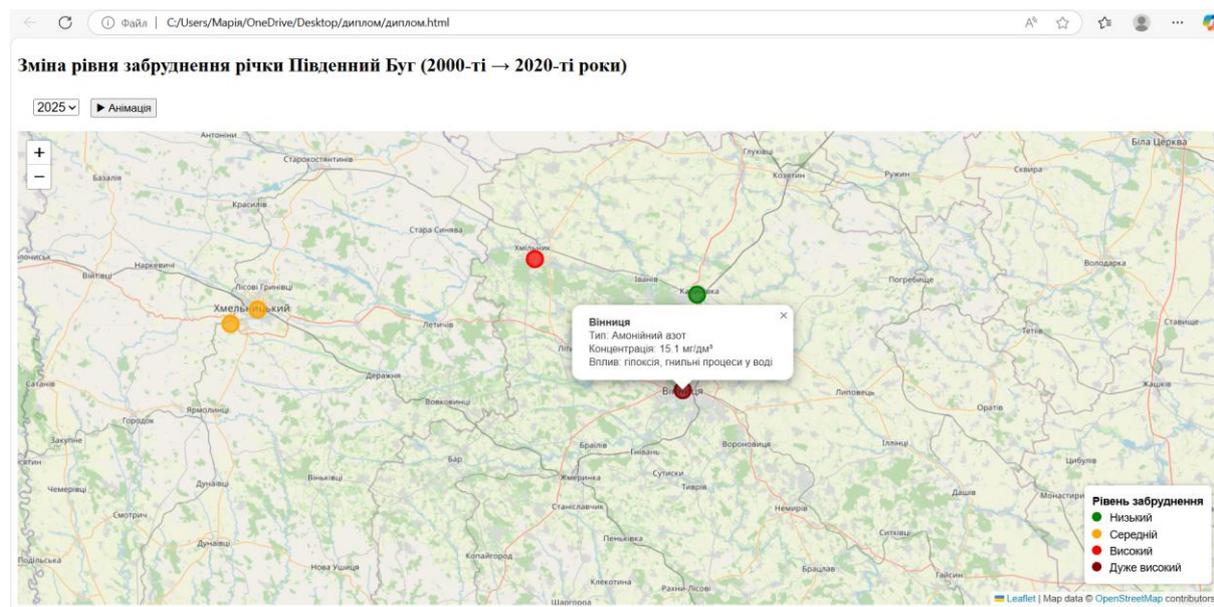


Рис. 4. Leaflet-карта забруднення річки Південний Буг за 2000-2020 роки

Аналіз даних за період 2003–2025 років демонструє тривожну тенденцію: попри окремі епізоди покращення якості води, загальний рівень забруднення залишається стабільно високим. Найпроблемнішими виявлено ділянки поблизу міст Хмельницький, Летичів, Вінниця та Ладижин, де водні ресурси забруднюються переважно органічними речовинами, сполуками азоту та важкими металами. Гідрологічні параметри свідчать про часткову деградацію річкової екосистеми: у ряді випадків зафіксовано зниження прозорості води, сповільнення течії та поява локальних зон застою. Біологічний моніторинг підтвердив зменшення видового різноманіття в таких групах, як фітопланктон та зоопланктон.

Використання геоінформаційних технологій дозволило провести просторову інтерполяцію результатів та побудувати багаторівневу модель оцінки екологічного стану річки. Це забезпечило комплексний підхід до аналізу якості води та її змін у часі, а також підвищило точність і наочність результатів.

Висновки і пропозиції. Результати дослідження відкривають ряд практичних і наукових перспектив:

- Запропонована модель картографування може бути адаптована для щорічного оновлення даних та автоматизованого виявлення змін екологічного стану.
- Створена веб-карта може бути використана місцевими органами влади, екоінспекціями та управліннями водного господарства для прийняття рішень щодо екологічного нагляду, зонування, планування очисних заходів тощо.
- Розроблена методика збору, обробки та візуалізації даних має універсальний характер і може бути використана для інших річкових басейнів України.
- Інтерактивна карта може бути інтегрована у просвітницькі кампанії та освітні програми, сприяючи зростанню громадської участі у збереженні водних ресурсів.
- Оцінка екологічного стану річки Південний Буг може стати основою для міждисциплінарних досліджень у сфері кліматології, гідрології, урбаністики та геоінформатики.

Таким чином, проведення дослідження не лише фіксує поточний стан водної екосистеми, але й створює підґрунтя для сталого управління природними ресурсами та формування екологічно орієнтованої політики на локальному та регіональному рівнях.

Список використаних джерел

1. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (2017). *Методичні рекомендації щодо картографування екологічного стану водних об'єктів*.

2. Міністерство екології та природних ресурсів України (2020). *Національна програма моніторингу водних ресурсів України*.
3. Согор, А. Р., Голубінка, Ю. І., Шаповал, В. В., Согор, М. А. (2020). Інтерактивна карта забруднення поверхневих вод Львівщини. *Молодий вчений*, 2(78), 193–199. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-2-78-44>.
4. Согор А.Р., Зазуляк П.М. (2022). Картографування екологічного забруднення повітря міста Львів. *Космічна наука і технологія*, 28(3), 86–91.
5. Управління водними ресурсами Хмельницької області (2020). *Звіт про стан водних ресурсів Хмельницької області*.
6. Bijeesh, T.V., Narasimhamurthy, K.N. (2020). Surface water detection and delineation using remote sensing images: a review of methods and algorithms Sustain. *Water Resour. Manag*, 6(68). <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00425-4>.
7. Bilgin, A. (2018). Evaluation of surface water quality by using the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: A case study of the Coruh River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 554. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6927-5>.
8. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2015). *Ecosystem-based management of South Bug River Basin: South Bug River Basin management plan* (2nd ed.).
9. Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
10. Frappart, F., Papa, F., Famiglietti, J. S., Prigent, C., Rossow, W. B., & Seyler, F. (2008). Interannual variations of river water storage from a multiple satellite approach: A case study of the Rio Negro River basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D21104. <https://doi.org/10.1029/2007JD009438>.
11. *Global water quality monitoring and assessment techniques*. (2018). *Journal of Environmental Studies*, 11(4), 82–94.
12. Chen, K., Chen, H., Zhou, C., Huang, Y., Qi, X., Shen, R., Liu, F., Zuo, M., Zou, X., Wang, J., Zhang, Y., Chen, D., Chen, X., Deng, Y., & Ren, H. (2020). Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. *Water Research*, 171, 115454. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115454>
13. United Nations Development Programme. (2016). *Monitoring and protection of water resources in the South Bug Basin: Final report* (UNDP/GEF South Bug Project). UNDP Ukraine.
14. Pan, F., Wang, C., & Xi, X. (2016). Constructing river stage–discharge rating curves using remotely sensed river cross-sectional inundation areas and river bathymetry. *Journal of Hydrology*, 540, 670–687. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.048>.
15. Schwatke, C., Scherer, D., & Dettmering, D. (2019). Automated extraction of consistent time-variable water surfaces of lakes and reservoirs based on Landsat and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 11(9), 1010. <https://doi.org/10.3390/rs11091010>.
16. Sohor, A., Brydun, A., Fys, M., Yarema, N., & Trefler, A. (2021). Web mapping of surface water quality in Lviv. In *GeoTerrace-2021: International scientific and technical conference of young professionals* (October 4–6, 2021, Lviv, Ukraine).
17. Sohor, A., Brydun, A., Yarema, N., Lozynskyi, V., & Sohor, M. (2020). Interactive map of environmental pollution of the surface waters in Lviv region. In *GeoTerrace-2020: International scientific and technical conference of young professionals* (December 7–9, 2020, Lviv, Ukraine).
18. Sohor, A., & Sohor, M. (2020). Web-mapping of environmental pollution of surface waters. *Молодий вчений*, (3), 199–204.

References

1. Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan heodezii, kartohrafii ta kadastru [State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre]. (2017). *Metodychni rekomendatsii shchodo kartohrafovannia ekolohichnoho stanu vodnykh ob'ektiv – Methodological recommendations for mapping the ecological state of water bodies*.

2. Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine]. (2020). *Natsionalna prohrama monitorynhu vodnykh resursiv Ukrainy – National program for monitoring water resources of Ukraine*.
3. Sohor, A., Holubinka, Yu., Shapoval, V., & Sohor M. (2020). Interaktyvna karta zabrudnennia poverkhnevyykh vod Lvivshchyny. [Interactive Map of pollution of Surface waters of Lviv.] *Molodyi vchenyi – Young Scientist*, 2(78), 193–199. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-2-78-44>.
4. Sohor, A. R., & Zazuliak, P. M. (2022). Kartohrafuvannia ekolohichnoho zabrudnennia povitria mista Lviv [Mapping of environmental pollution of air in Lviv]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia – Space Science and Technology*, 28(3), 86–91.
5. Upravlinnia vodnymi resursamy Khmelnytskoi oblasti [Water Resources Administration of Khmelnytskyi Region]. (2020). *Zvit pro stan vodnykh resursiv Khmelnytskoi oblasti. Khmelnytskyi – Report on the state of water resources of Khmelnytskyi Region. Khmelnytskyi*.
6. Bijeesh, T. V., & Narasimhamurthy, K. N. (2020). Surface water detection and delineation using remote sensing images: a review of methods and algorithms Sustain. *Water Resour. Manag.*, vol.6, no. 68. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00425-4>.
7. Bilgin, A. (2018). Evaluation of surface water quality by using the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: A case study of the Coruh River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 554. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6927-5>.
8. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2015). *Ecosystem-based management of South Bug River Basin: South Bug River Basin management plan* (2nd ed.).
9. Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
10. Frappart, F., Papa, F., Famiglietti, J. S., Prigent, C., Rossow, W. B., & Seyler, F. (2008). Interannual variations of river water storage from a multiple satellite approach: A case study of the Rio Negro River basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D21104. <https://doi.org/10.1029/2007JD009438>.
11. *Global water quality monitoring and assessment techniques*. (2018). *Journal of Environmental Studies*, 11(4), 82–94.
12. Chen, K., Chen, H., Zhou, C., Huang, Y., Qi, X., Shen, R., Liu, F., Zuo, M., Zou, X., Wang, J., Zhang, Y., Chen, D., Chen, X., Deng, Y., & Ren, H. (2020). Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. *Water Research*, 171, 115454. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115454>.
13. United Nations Development Programme. (2016). *Monitoring and protection of water resources in the South Bug Basin: Final report* (UNDP/GEF South Bug Project). UNDP Ukraine.
14. Pan, F., Wang, C., & Xi, X. (2016). Constructing river stage–discharge rating curves using remotely sensed river cross-sectional inundation areas and river bathymetry. *Journal of Hydrology*, 540, 670–687. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.048>.
15. Schwatke, C., Scherer, D., & Dettmering, D. (2019). Automated extraction of consistent time-variable water surfaces of lakes and reservoirs based on Landsat and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 11(9), 1010. <https://doi.org/10.3390/rs11091010>.
16. Sohor, A., Brydun, A., Fys, M., Yarema, N., & Trefler, A. (2021). Web mapping of surface water quality in Lviv. In *GeoTerrace-2021: International scientific and technical conference of young professionals* (October 4–6, 2021, Lviv, Ukraine).
17. Sohor, A., Brydun, A., Yarema, N., Lozynskyi, V., & Sohor, M. (2020). Interactive map of environmental pollution of the surface waters in Lviv region. In *GeoTerrace-2020: International scientific and technical conference of young professionals* (December 7–9, 2020, Lviv, Ukraine).
18. Sohor, A., Holubinka, Yu., Shapoval, V., & Sohor, M. (2020). Interactive map of pollution of surface waters of Lviv. *Young Scientist*, 2(78), 193–199. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-2-78-44>.

Дата першого надходження статті до видання: 23.10.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.11.2025

Andrii Brydun¹, Mariia Chobotaieva², Andrii Sohor³, Nataliia Yarema⁴

¹PhD in Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Mathematics Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: andrii.m.brydun@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5634-0512>

ResearcherID: [AAC-1271-2020](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512). **Scopus Author ID:** [57212560353](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512)

²Master of the Institute of Geodesy Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: mariia.chobotaieva.mhdhm.2025@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-1745-7180>

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and Geospatial Modelling
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0084-9552>

ResearcherID: [ABI-6288-2020](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552). **Scopus Author ID:** [57224950613](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and Geospatial Modelling
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: nataliia.p.yarema@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5796-2038>

Scopus Author ID: [57218923725](https://orcid.org/0000-0002-5796-2038)

APPLICATION OF GIS FOR THE ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE SOUTHERN BUG RIVER WITHIN THE KHMELNYTSKYI AND VINNYTSIA REGIONS

The problem of river pollution has been relevant for many years. Still, over the last decade the consequences have become increasingly noticeable, so this scientific work aims to highlight this problem. The Southern Bug River is a vital water artery of Central Ukraine, providing water supply, hydropower, fishing and recreation. Despite its significant ecological value, the river faces numerous environmental problems associated with anthropogenic loads and climate change. This work is devoted to the study of the ecological state of the Southern Bug River in the territory of Khmelnytskyi and Vinnytsia regions using cartographic methods. The work analyzes the primary sources of river pollution, such as industrial and agricultural runoff, urbanization, unorganized landfill, and the impact of climate change on the water regime of the river. A comprehensive assessment of water quality was carried out based on hydrochemical, biological and radiological indicators, emphasizing geographic information systems (GIS) to create thematic maps and analyze the ecological situation. Cartographic methods allowed us to visualize the spatial distribution of pollution, assess the degree of influence of various factors on the river ecosystem and identify the most problematic areas. This work aimed to develop a cartographic model of the ecological state of the Southern Bug River within the Khmelnytskyi and Vinnytsia regions, as well as to assess the level of pollution of water resources and their impact on the ecosystem. One of the main stages of data processing was the creation of maps that clearly reflect the results of environmental monitoring. To achieve this goal, some tasks were solved: analysis of the ecological state of the Southern Bug River; development of a methodology for mapping the ecological state of the Southern Bug River; assessment of the impact of anthropogenic factors on the ecological state of water resources.

Keywords: Southern Bug River; ecological state; geoinformation technologies; environmental monitoring; pollution; anthropogenic factors; water resources management.

Fig.: 4. References: 18.