

Аналіз динаміки розливу річки Стир методами дистанційного зондування Землі

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.134>

Андрій Калько

Національний університет водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
a.d.kalko@nuwm.edu.ua

Тетяна Басюк

Національний університет водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
t.o.basyuk@nuwm.edu.ua

Маргарита Яковишина

Національний університет водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
m.s.yakovyshyna@nuwm.edu.ua

Богдан Конарівський

ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж
НУВГП»
Рівне, Україна
bkonarivskij@gmail.com

Анотація — У статті проаналізовано розлив річки Стир біля с. Млинок у 2024 році з використанням супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2. Встановлено, що найефективнішими методами для моніторингу затоплення є спектральний індекс NDWI та композит SWIR, а радарні знімки незамінні для відстеження динаміки повені через хмарність. Результати підтверджують високу ефективність комплексного підходу ДЗЗ для оперативного оцінювання наслідків паводків в умовах Полісся.

Ключові слова — *дистанційне зондування Землі, повінь, річка, моніторинг.*

технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечують регулярний моніторинг ризикових територій, високу оперативність отримання інформації та широту огляду. Інтеграція ДЗЗ із сучасними геоінформаційними системами дозволяє здійснювати збір, швидку автоматизовану обробку та комплексний аналіз просторових даних, а також візуалізувати результати, що значно підвищує ефективність контролю за поширенням повеней та прогнозування масштабів затоплення. Зокрема, комп'ютерні алгоритми дозволяють автоматично виявляти межі «вода-суша» та визначати площу затоплених територій [2].

Метою дослідження було оцінити масштаби розливу річки Стир у північній частині Рівненської області на основі супутникових знімків за 2024 рік. Дослідження зосереджено на ділянці біля населеного пункту Млинок, де розташований гідрологічний пост спостережень, що забезпечує репрезентативність даних.

II. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для моніторингу різних фаз водного режиму було застосовано комплекс методів дистанційного зондування. При роботі з оптичними даними супутника Sentinel-2 використовувались спектральні комбінації каналів (у тому числі SWIR) та розрахунок спектральних індексів. Для аналізу радарних знімків Sentinel-1 застосовувалась методика покращеної візуалізації, що включає радіометричну корекцію рельєфу. Таке поєднання методів дозволило комплексно дослідити динаміку розливу річки незалежно від метеорологічних умов.

III. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Візуалізацію результатів моніторингу представлено на рис. 1, рис. 2. Для мультиспектральних знімків Sentinel-2 застосовано

I. ВСТУП

Природно-кліматичні умови Українського Полісся обумовлюють розвиток на річках регіону інтенсивних тало-дощових паводків. Активне сніготанення навесні спричиняє різке підвищення рівня води в басейні Прип'яті, зокрема у річці Стир, що в поєднанні з широкими заплавами поліських річок призводить до масштабних розливів та затоплення прилеглих територій. Ці повені супроводжуються серйозними соціально-економічними наслідками, включаючи пошкодження населених пунктів, сільськогосподарських угідь, інфраструктурних об'єктів, а також деградацію екосистем внаслідок забруднення водойм і ґрунтів.

Високий потенціал для ефективного моніторингу таких явищ забезпечують технології дистанційного зондування Землі, оскільки водні об'єкти чітко ідентифікуються на космічних знімках завдяки значному діапазону зйомки та високій просторовій роздільній здатності [1].

Наземні методи моніторингу водного режиму часто виявляються недостатніми для забезпечення цілісного контролю та ефективного управління паводковою ситуацією. На противагу цьому,

різні комбінації каналів: композит SWIR (короткохвильовий інфрачервоний діапазон), спектральні зрізи True Color та False Color.

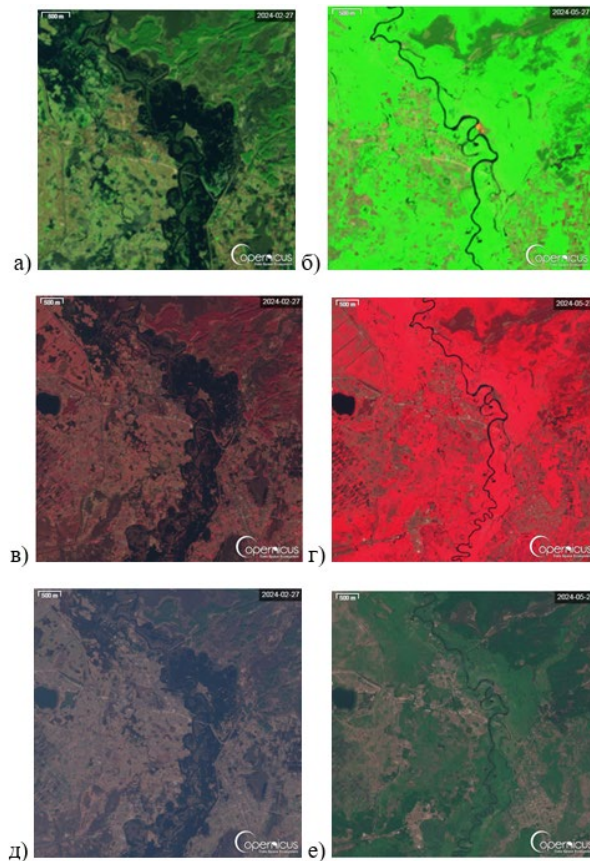


Рис. 1. Дослідження розливу річки Стир у селі Млинок у різні фази водного режиму за 2024 рік за даними супутника Sentinel-2: а) композит SWIR, 27 лютого; б) композит SWIR, 27 травня; в) композит False Color, 27 лютого; г) композит False Color, 27 травня; д) композит True Color, 27 лютого; е) композит True Color, 27 травня [3].

Примітка. На знімках SWIR (а, б) чорним кольором ідентифікуються водні об'єкти, що дозволяє точно відстежувати динаміку розливу. У травневих знімках виявлено сліди пожежі, які виразно проявляються у SWIR-діапазоні.

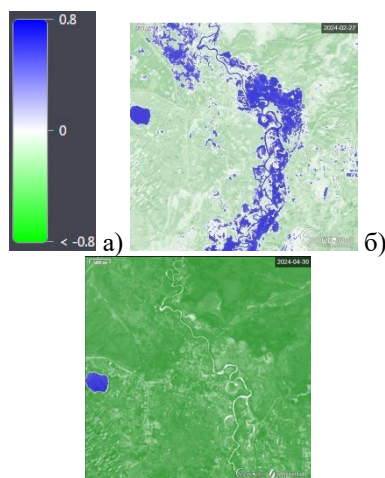


Рис. 2. Результати моніторингу розливу річки Стир поблизу с. Млинок за допомогою нормалізованого диференційного індексу води (NDWI): а) стан на 27 лютого 2024 р.; б) стан на 27 травня 2024 р. [3].

Примітка. Сині та блакитні відтінки на індексних зображеннях відповідають водним поверхням та зонам затоплення. Порівняльний аналіз візуалізує значне скорочення площі розливу між весняним та літнім періодами.

На рис. 2 наведено результати автоматичного розрахунку нормалізованого диференційного індексу води (NDWI). Порівняльний аналіз виявив найвищу ефективність виокремлення зон розливу при використанні індексних зображень NDWI, композити SWIR та радарних знімків.

Під час аналізу супутникових знімків за травень 2024 року на досліджуваній території було ідентифіковано пожежу, яка чітко фіксується у спектральній комбінації SWIR (Short Wave Infrared RGB), спеціалізований для моніторингу вогневих подій та їх наслідків. У даному композиті спостерігається характерна кольорова диференціація об'єктів: водні поверхні відображаються чорним кольором, рослинність - спектром зелених відтінків, а антропогенні поверхні та ґрунти - варіаціями коричневого кольору (рис. 1а-б). Ця особливість візуалізації дозволяє одночасно аналізувати як гідрологічні, так і пірологічні процеси на території дослідження.

Для кількісної оцінки динаміки водного покриву в районі дослідження було застосовано нормалізований диференційний індекс води (NDWI). Автоматичний розрахунок індексу виконано в середовищі Copernicus Browser, що дозволило отримати об'єктивні дані щодо змін площі розливу річки Стир біля населеного пункту Млинок (рис. 2).

Методичною основою дослідження слугувала стандартна формула розрахунку NDWI [4]:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

де GREEN - зелений діапазон (канал B3), NIR - ближній інфрачервоний діапазон (канал B8).

Інтерпретація отриманих значень NDWI базувалася на усталених критеріях [3]: значення індексу $> 0,5$ характеризують постійні водні об'єкти, діапазон $0,2-0,5$ вказує на затоплені ділянки з рослинністю, а значення $< 0,2$ відповідають суходолу. Ця класифікація забезпечила точне виокремлення як постійної акваторії, так і тимчасово затоплених територій.

Вимірювання морфометричних характеристик розливу річки виконувались в середовищі Copernicus Browser (рис. 3). Порівняльний аналіз різних методів візуалізації підтвердив, що найбільш ефективними для ідентифікації та точного вимірювання затоплених територій є композит SWIR та індексні зображення NDWI. Ці методи забезпечують оптимальну контрастність між водними об'єктами та іншими типами покриттів, що є вирішальним для проведення кількісних морфометричних досліджень.

Важливим методичним аспектом дослідження стало подолання обмежень, пов'язаних із високою хмарністю, характерною для Полісся під час паводкового періоду. Для забезпечення безперервності моніторингу було застосовано радіолокаційні знімки супутника Sentinel-1, принцип роботи яких ґрунтується на активному зондуванні поверхні та є нечутливим до метеорологічних умов та освітленості. Спеціальний скрипт "Покращена візуалізація" (Enhanced Visualization) дозволив оптимізувати інтерпретацію радарних даних шляхом застосування кольорової палітри, де водні об'єкти та

зони затоплення ідентифікуються за синьо-бірюзовою гамою, а суходіл диференціюється у спектрі зелено-жовтих відтінків відповідно до типу покриття [3].

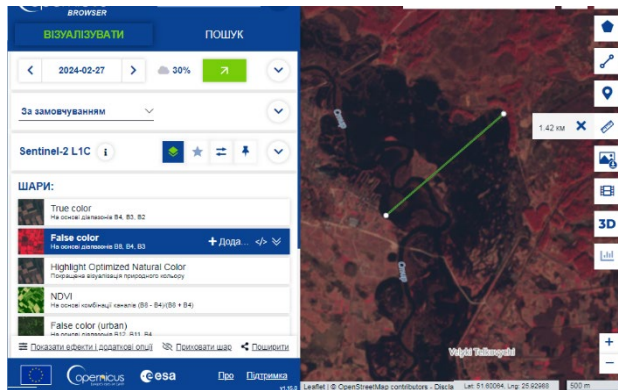


Рис. 3. Визначення ширини розливу р. Стир у межах населеного пункту Млинок (супутниковий знімок Sentinel-2, композит False Color, 27 лютого 2024 р.)

Порівняльний аналіз ефективності різних супутникових систем показав, що радарні знімки, незважаючи на нижчу просторову деталізацію та наявність спектральних шумів у порівнянні з мультиспектральними даними, є незамінними для відстеження повної динаміки повеневого процесу. Їхня унікальна цінність полягає в здатності забезпечувати точну фіксацію хронології паводкової фази – від початку розливу до його повного сходу – в умовах інтенсивної та тривалої хмарності, коли отримання якісних оптичних знімків є неможливим (рис. 4). Це робить інтеграцію даних Sentinel-1 обов'язковим компонентом будь-якої комплексної системи моніторингу паводків у регіонах з подібними кліматичними умовами. (рис. 4).

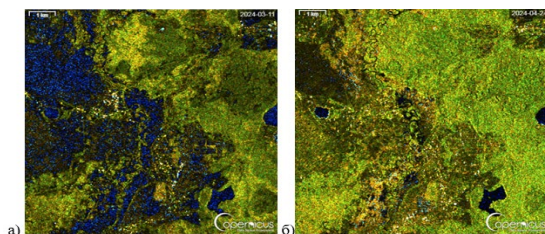


Рис. 4. Динаміка розливу річки Стир поблизу с. Млинок за радіолокаційними даними Sentinel-1 (покращена візуалізація, enhanced visualization): а) стан на 11 березня 2024 р.; б) стан на 24 квітня 2024 р.

Проведений порівняльний аналіз радарних знімків Sentinel-1 за березень та квітень 2024 року виявив чітку динаміку скорочення площі розливу річки Стир. Дані показують суттєве звуження меж паводкових вод між березневим піком паводку та квітневим періодом, що візуалізує природний цикл сходження повені. Ця спостережувана динаміка підтверджує ефективність радіолокаційного моніторингу для фіксації тимчасових змін у гідрологічному режимі річки.

Критично важливим результатом є підтвердження операційної цінності радарних знімків Sentinel-1 для моніторингу в умовах погіршеної видимості. Незважаючи на інтенсивну хмарність, характерну для весняного періоду в регіоні, радарні дані забезпечили безперервний потік інформації, дозволивши точно відстежити всі фази паводкової динаміки. Ця перевага робить

радіолокаційний моніторинг незамінним інструментом для створення надійної системи спостереження за повенями в умовах Полісся, де традиційні оптичні методи часто виявляються неефективними через метеорологічні умови..

IV. ВИСНОВКИ

Проведені дослідження підтвердили високу ефективність комплексного використання різних методів дистанційного зондування для моніторингу динаміки розливу річки Стир. Встановлено, що найбільш інформативними для візуалізації та точного виокремлення затоплених територій є індексні зображення NDWI та композит SWIR на основі даних супутника Sentinel-2. Ці методи забезпечують оптимальну контрастність між водними об'єктами та іншими типами покриттів, що є вирішальним для проведення якісного аналізу та кількісних вимірювань.

Незважаючи на нижчу просторову деталізацію та наявність шумів, радіолокаційні знімки Sentinel-1 є незамінними для безперервного відстеження паводкових процесів. Їхня ключова перевага – нечутливість до хмарності та атмосферних умов – робить їх єдиною альтернативою для моніторингу в умовах інтенсивної хмарності, характерної для Полісся під час паводкового періоду. Таким чином, радарні дані виступають не заміною, а важливим доповненням до оптичних знімків, дозволяючи точно фіксувати хронологію повені (дат початку, піку та сходу води) навіть за відсутності ясних оптичних знімків.

Поєднання оптичних і радарних супутникових даних формує надійну основу для створення ефективної системи оперативного моніторингу, прогнозування та оцінки наслідків повеней. Запропонований методичний підхід дозволяє не лише фіксувати розливи, які відбулися, але й моделювати потенційні зони затоплення. Це має ключове значення для розробки превентивних заходів, планування надзвичайних ситуацій, забезпечення своєчасного оповіщення населення та мінімізації соціально-економічних збитків. Отримані результати відкривають перспективи для подальших досліджень, зокрема, для створення автоматизованих алгоритмів раннього попередження про паводкові загрози на основі аналізу часових серій супутникових даних, а також для інтеграції отриманих даних в системи підтримки прийняття управлінських рішень органами місцевого самоврядування та рятувальних служб.

Література

- [1] Іванов Д., Каштан В.. Геоінформаційна технологія виявлення та моделювання затоплених зон міста Дубай на основі згорткової нейронної мережі. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. 2024. № 4. Р. 99–113. <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-13>. ДБН А.2.1-1-2014.
- [2] Інформаційна технологія моніторингу повеней з використанням даних ДЗЗ / Л. І. Самойленко та ін. Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15. № 3. С. 50–55.
- [3] Copernicus browser. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
- [4] NDWI: Нормалізований Диференційний Індекс Вологості. EOS DATA Analytics : веб сайт. URL: <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndwi/>