

Еколого-геофізичний моніторинг вздовж водного шляху між Чорним і Балтійським морями

Ю.П. Стародуб¹, Б.М. Михалічко¹, Г. Полчик², Б.Є. Купльовський³, 2026

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

²Науково-дослідний інститут ливарного виробництва, Краків, Польща

³Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Надійшла 9 лютого 2026 р.

Розглянуто концепцію проекту, спрямованого на розробку геофізичних аспектів дослідження можливостей будівництва водного шляху від Балтійського до Чорного моря по річках Вісла, Сян і Дністер. Запропонований маршрут є доповненням і частковою альтернативою водному шляху по річках Прип'ять і Дніпро.

Проаналізовано геофізичні аспекти методології встановлення можливості проходження суден по річках, пов'язані з сейсмічними небезпеками та метеорологічними факторами, зокрема нагріванням території та атмосфери. Враховано умови воєнного стану та пов'язані з ним небезпеки (включно з можливістю виникнення масштабних пожеж).

Робота ґрунтується на існуючих дослідженнях, цитованих в працях авторів, щодо використання супутників і безпілотних літаючих апаратів з метою спостереження за поточним станом території на кордоні між Україною та Польщею.

В Україні — це здебільшого Карпатський регіон та лісостепова зона. Аналізуючи та порівнюючи дані про території, особливо про сейсмічно активні райони України, де для різних об'єктів (будівель і споруд), а також для лісистих територій існує реальна небезпека виникнення масштабних пожеж, передбачається сумісне використання і аналіз результатів обробки супутникових знімків і даних безпілотних літальних апаратів для територій, де аварійно-рятувальні служби повинні проводити профілактичні роботи з усунення пожежних і небезпечних техногенних ризиків. У цих районах для ефективної боротьби з лісовими пожежами, особливо поблизу каналів і річок, зона виявлення повинна бути менше 1 гектара, а площа пожежі на момент гасіння не повинна перевищувати 5 гектарів. Для цього в космічному моніторингу пожеж може використовуватися, наприклад, інформація з удосконаленого радіометра високої роздільної здатності (AVHRR), що передається супутником NOAA, доповнена даними з безпілотних літаючих апаратів. Методологія виявлення пожеж базується на використанні оцінок випромінювання для каналів AVHRR 3, 4, 5 та відомих даних дронів Mavic 3D (теплові), що відповідають інфрачервоному спектру. Пожежі визначаються як екстремальні значення випромінювання третього каналу AVHRR. Димові шлейфи від пожеж добре виявляються в першому та другому каналах AVHRR (видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах відповідно). Для більш точної ідентифікації пожеж використовують алгоритми визначення порогових значень виникнення пожеж.

На температурній карті центрально-західної частини України виділені райони, де ризик руйнувань зростає через сейсмічну активність і температури. Випромінювання реєструються на третьому і четвертому каналах приладу AVHRR, для яких використане зображення, відкаліброване для температури до 30 °C. У результаті представлено

Citation: Starodub, Yu.P., Mykhalichko, B.M., Polcik, H., & Kuplovskyi, B.Ye. (2026). Environmental and geophysical monitoring along the waterway between the Black Sea and the Baltic Sea. *Geofizychnyi Zhurnal*, 48(4), 67—84. <https://doi.org/10.24028/gj.v48i4.351964>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2026. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

температурну карту України в спекотні літні дні 2022 та 2023 р.

Ключові слова: геофізичне дослідження, Чорноморсько-Балтійський водний шлях, лінія Вісла—Сян—Дністер.

Вступ. Стаття спрямована на вирішення комплексних еколого-геофізичної завдань у рамках інфраструктурного проєкту сполучення Чорного та Балтійського морів і моніторингу еколого-геофізичної ситуації вздовж водного шляху за запропонованим варіантом його проходження. Для виявлення аномальних ситуацій, пов'язаних з різними змінами погоди та воєнними умовами в Україні, необхідно проводити систематичні геофізичні дослідження процесів, які стосуються різних змін температурних режимів у довкіллі. Особливо важливою ця проблема постає в контексті змін ситуації, що посилюється глобальним потеплінням у Європі, зокрема в Україні, та існуючих загроз у Польщі, пов'язаних з аномальною спекою або, навпаки, похолоданням у різні пори року [Starodub, Havrys, 2018; Starodub et al., 2020, 2025; Nikolaevich et al., 2021]. Різке підвищення температури часто призводить до повеней на річках і прилеглих територіях [Havrys et al., 2024], зміни водного режиму, а в літній період — до великої кількості випадків, пов'язаних з виникненням пожеж у Карпатському регіоні [Starodub, Gnyr, 1999; Starodub et al., 2022]. У статті представлено результати геофізичних досліджень екологічних ризиків, які можуть виникати на найбільш західних територіях на лінії вздовж русел річок Дністра та Вісли. З огляду на згадані виклики існує необхідність розробити заходи реагування для пом'якшення потенційно катастрофічних наслідків цих природних явищ на водному шляху Дністер—Вісла, особливо враховуючи триваючу війну в Україні. Використання даних супутників і безпілотних літаючих апаратів для досягнення мети надає значні можливості і відкриває нові перспективи. У статті окреслено проєкт, розроблений для моніторингу еколого-геофізичної ситуації вздовж водного шляху на кордоні України з Польщею та з іншими сусідніми країнами.

Раніше були проведені фундаментальні дослідження щодо відновлення водного шляху E40 Дніпро—Вісла. Йшлося про оновлення внутрішнього водного шляху E40, вплив на охоронні території Польщі та України, а також про те, як водний шлях E40 може збільшити радіаційний ризик для мільйонів людей та вплинути на водосховища. Крім того, дослідження були спрямовані на покращення можливої судноплавності нижньої течії річки Вісла [Restoration ..., 2015; E40 waterway ..., 2020, 2022].

Розроблено таблиці і карти, де наводяться відомості про транспорт, переваги судноплавства, гідрологічні споруди (дамби, греблі, днопоглиблювальні роботи) та екологічні ризики (повені, посухи, радіація, біорізномаяїття).

Існують попередження експертів про те, що днопоглиблення в річці Прип'ять в межах/поблизу Чорнобильської зони відчуження може призвести до повторної активізації забруднених відкладів, що вплине на систему питного водопостачання Дніпра. Обговорюються сценарії надзвичайних ситуацій, повеней та побічні термічні ризики, зокрема лісові пожежі та пожежі на гідротехнічних об'єктах, що знаходяться на лінії русла річок.

Наукова новизна та актуальність роботи. Представлено альтернативний проєкт проходження водного шляху між Чорним і Балтійським морями, а саме вздовж річок Дністер—Сян—Вісла. Дослідження цього водного маршруту мають особливу актуальність через складний гірський та передгірський рельєф, а також транскордонний характер екосистем.

Актуальність цієї роботи визначають ключові чинники.

1. Сейсмічна та геодинамічна стабільність. На відміну від рівнинного Полісся, басейн Верхнього Дністра та Сяну розташований в околі Карпатського регіону. Тому необхідно оцінювати ризики зсувів,

обвалів і сейсмічної активності, які можуть пошкодити гідротехнічні споруди (шлюзи, канали) або спричинити аварійні витoki забруднювачів.

2. Карстова небезпека. Регіон Передкарпаття багатий на розчинні породи (гіпси, солі), через що будівництво нових каналів або поглиблення русел річок може активізувати карстові процеси. Геофізичний моніторинг дає змогу виявити приховані порожнини, що загрожують цілісності майбутнього водного шляху.

3. Управління паводками та наносами. Дністер і Сян є річками з паводковим режимом. У зв'язку з цим зміна морфології річок для судноплавства впливатиме на швидкість течії та накопичення мулу. Еколого-геофізичний моніторинг допоможе прогнозувати, як інженерні втручання змінять режим повеней, щоб захистити населені пункти від затоплень.

4. Охорона транскордонних підземних вод. Водоносні горизонти вздовж кордону України та Польщі є єдиною системою, а отже інженерне втручання (створення дамб або поглиблення дна) може змінити рівень ґрунтових вод, що призведе або до підтоплення сільськогосподарських угідь, або до зникнення води в криницях місцевих громад.

5. Ревіталізація промислових зон. Маршрут проходитиме через регіони з давньою історією видобутку корисних копалин (сірки, калійних солей, нафти тощо), тому існує ризик потрапляння токсичних речовин із покинутих кар'єрів і шахт у річкову систему під час великого будівництва. Геофізичні методи допоможуть виявити зони міграції таких забруднень.

6. Екологічний каркас «Дністер—Вісла». Ці річки є важливими екологічними коридорами для міграції різних видів фауни у Європі. Дослідження дають змогу знайти компроміс між судноплавством і збереженням заповідних зон, мінімізуючи «бар'єрний ефект» від інженерних споруд.

Еколого-геофізичний моніторинг виступає тут як інструмент запобігання техногенно-екологічним катастрофам у

геологічно нестабільному та густонаселеному регіоні.

Мета роботи — геолого-геофізичне вивчення стану середовища вздовж річок Вісла—Сян—Дністер, які за умови створення каналів можуть з'єднувати Балтійське море з Чорним, і створення інформаційної системи моніторингу надзвичайних ситуацій вздовж всього запропонованого водного шляху. Для цього використовувати дані сейсмічних і геолого-хімічних спостережень, безпілотних літальних апаратів і літаків, інтерпретувати супутникові та аерознімки середньої і низької роздільної здатності, проводити математичне моделювання напружено-деформованого стану інженерних об'єктів і теплових процесів на них. Для вивчення геолого-геофізичного стану басейнів річок за цими даними запропоновано використовувати пакети програм ArcGIS, ENVI, адаптуючи їх із розробленими для цього скриптами, написаними на мові Python.

Огляд тематики дослідження. В аспекті геофізичних розвідок було досліджено лінію річок, що з'єднують Балтійське море з Чорним. У публікаціях [Ziolo et al., 2013; Kazanski, 2016] згадуються археологічні свідчення про водні шляхи, що з'єднували ці моря. У пізньоримський період під час Великого переселення народів існував річковий шлях Вісла—Західний Буг, що з'єднував Понтій з Балтійським морем. У статті [Kuźniar et al., 2006] розглянуто можливості судноплавності Вісли між Плоцьком і Варшавою, зокрема Жеранський канал та нижній Західний Буг, проаналізовано гідрологію, геоморфологію річок, стан інфраструктури та зазначено обмеження для судноплавства. У статті [Pieron et al., 2022] вивчено ситуацію з водосховищами в планах покращення судноплавства на нижній ділянці Вісли. У статті [Witkowski, Meus, 2024] як інфраструктурну спадщину розглянуто проекти будівництва транспортно-сполучення від Вісли до Дністра.

У запропонованій статті питання концепції, реалізації, впливу на довкілля, поточного стану проєкту, залишаються відкритими. У статті [Hurska, 2020] наведено

аналіз поточного проєкту Е40 (водний шлях Гданськ—Херсон), який обговорюється з ініціативи ЄС та країн-партнерів з метою створення внутрішнього водного шляху через Віслу, Західний Буг та Дніпро. Також опубліковано звіт про техніко-економічне обґрунтування та попередню оцінку в проєкті [Waterway ..., 2026]. У звіті «Restoration of the E40 in land water way...» зроблено висновки щодо маршруту, екологічних ризиків, бюджету та змін у інфраструктурі. За інформацією [Проект ..., 2026] в Україні був презентований план зеленого відновлення басейну Вісли (басейни річок Західний Буг та Сян), який розроблявся для оцінювання еколого-геофізичного стану басейну річок Західний Буг—Вісла. План насамперед передбачає аналіз антропогенного впливу в контексті водного сполучення частини маршруту.

Розроблено метод інтерпретації водного шляху Балтійське море—Чорне море (рис. 1), де автори приділили увагу аналізу розробок, нових підходів і технологій, а також логічному практичному застосуванню отриманих результатів, зокрема різним аспектам протипожежного захисту [Starodub, Navtys, 2018; Starodub et al., 2020].

Враховуючи Балтійсько-Чорноморський водний шлях, запропонований у 1927 р. професором Максиміліаном Матакевичем із Львівської політехніки на лінії Вісла—Сян—Дністер—Прут, у ХХІ ст. дослідження відновили і продовжили проєкт Балтійсько-Чорноморського водного шляху автори монографії [Ziolo et al., 2013].

У статті, опублікованій у *Przegląd Techniczny* у 1927 р., професор Матакевич зазначив, що це водне сполучення буде найкоротшим, побудованим за відносно сприятливих умов, завдяки перетинам вододілу між Віслою та Дністром. Його могли б використовувати судна водотоннажністю до 1200 тон з осадкою 1,8—2,0 м. Довжина всього маршруту оцінюється приблизно в 1900 км у межах сусідніх країн (Польщі, України, Молдавії та Румунії). У цій статті інформацію було використано для встановлення можливого маршруту від



Рис. 1. Схема запропонованого Балтійсько-Чорноморського водного шляху на карті Європи. Тоншою лінією вказана та частина водного шляху, що потребуватиме наповнення русла річки та проходить територією України.

Fig. 1. Scheme of the proposed Baltic-Black Sea waterway on a map of Europe. The thinner line indicates the part of the waterway that will require filling the riverbed with water, passing through the territory of Ukraine.

Балтійського моря вздовж річок Вісла—Сян—Дністер до Чорного моря. Ділянки водного шляху є наступними:

- перша ділянка має відстань приблизно 650 км і тягнеться вздовж русла р. Вісла від її гирла до гирла р. Сян;
- друга ділянка має відстань 140 км і тягнеться вздовж русла р. Сян аж до її злиття з р. Вісла. При цьому пропонується суттєво поглибити русло р. Сян на цій ділянці;
- третю ділянку завдовжки 111 км треба буде з'єднати водним каналом, який необхідно прокласти між річками Сян та Дністер;
- четверта ділянка тягнеться вздовж поглибленого русла р. Дністер від малих поселень Розвадова до Заліщиків (270 км)

і аж до гирла р. Дністер в Чорному морі (548 км). Перепад висот на четвертій ділянці водного шляху становить 264 м (див. рис. 1).

Штучний інтелект сприятиме революційним елементам дослідження, зокрема тим, що стосуються геофізичних змін воднотранспортної індустрії шляхом підвищення ефективності, безпеки та стійкості гідроінфраструктури вздовж русел, зокрема безпілотні судна, порти, водосховища та гідроелектростанції [Ziolo et al., 2013]. На основі наведених міркувань можна сформулювати основну ідею Балтійсько-Чорноморського водного шляху.

Методологія дослідження Балтійсько-Чорноморського водного шляху. Створення цифрового двійника Балтійсько-Чорноморського водного шляху, що охоплює річки Вісла, Сян, Дністер, Прут і Дунай, є складним, але фундаментальним проектом, що передбачає цифрове геофізичне моделювання в реальному часі та інтеграцію отриманих даних. Пропонуємо структурований підхід, адаптований до обсягу робіт.

1. Визначення завдання та мети геофізичного проекту:

- моделювання та моніторинг взаємопов'язаних водних шляхів від Балтійського до Чорного моря із зосередженням на наступному: гідрологічний потік, навігація (судна та порти), інфраструктура (водосховища, гідроелектростанції, шлюзи) на основних річках (Вісла, Сян, Дністер, Прут, Дунай);

- оцінювання навігації, виробництва електричної енергії, адаптації до клімату та портової логістики.

2. Компоненти цифрового двійника:

- геопросторові та гідрологічні дані;
- топографія річкового басейну, глибина, швидкість течії, перенесення осаду;
- історичні та реальні рівні води (від супутникових і наземних спостережень);
- дані про погоду та клімат (опади, випаровування тощо);
- картографування інфраструктури;
- порти (положення, пропускна здатність, тип (вантаж/пасажир), вантажопідйомність);

- водосховища (розташування, об'єм, контроль припливу/відпливу, роль захисту від повеней);

- гідроелектростанції (ГЕС) (потужність (у мВт), залежність від водного потоку);

- шлюзи, дамби та інша контролююча інфраструктура; рух суден та навігація;

- дані системи автоматичної ідентифікації (AIS) для відстеження суден;

- типи суден, маршрути, розміри та сумісність з осадкою;

- навігаційні обмеження (сезонність, періоди низької води тощо).

3. Інструменти та технології, моделювання та симуляція:

- ГІС-платформи (QGIS, ArcGIS для моделювання просторових даних);

- гідрологічні моделі (HEC-RAS, HEC-GeoRAS, MIKE HYDRO Basin);

- платформи цифрових двійників (Siemens NX, ANSYS Twin Builder, Bentley OpenFlows Water);

- 3D візуалізація (3D studio max, Unity, Unreal Engine (з геопросторовими плагінами));

- інтеграція даних та аналітика (платформи для даних датчиків у режимі реального часу (Azure IoT, AWS IoT));

- бази даних (PostgreSQL з PostGIS для просторових запитів);

- машинне навчання для прогнозування потоків, виробництва електроенергії та затримок судноплавства.

4. Кроки побудови цифрового двійника.

Крок 1. Збір даних:

- топографія русла річки та водозбору (DEM, LIDAR, дані сонара);

- історичні дані про річковий стік і метеорологічні дані;

- специфікації інфраструктури та експлуатаційні дані (рівні водосховищ, продуктивність ГЕС);

- журнали роботи портів і набори даних про рух суден (з AIS).

Крок 2. Гідрологічне та інфраструктурне моделювання:

- використання HEC-RAS або MIKE для моделювання динаміки потоку в кількох річках;

- моделювання роботи резервуарів-

утримувачів та виробництва електроенергії;

- додавання модулів для управління ризиком повеней та осадовими відкладеннями.

Крок 3. Моделювання навігації суден:

- розробка моделі руху суден (на основі агентів або правил);
- врахування глибини, ширини каналу, щільності руху та метеоситуації;
- інтеграція відстеження суден у режимі реального часу (AIS + історичні моделі руху).

Крок 4. Системна інтеграція:

- побудова централізованого осередку даних (на основі API) для отримання та аналізу в режимі реального часу;
- використання механізму цифрового двійника для синхронізації геофізичних змін з моделлю;
- інформаційна панель для підтримки прийняття рішень (порти, виробники електроенергії, водоканали).

Крок 5. Візуалізація та інтерфейс користувача:

- відображення 3D або вебпанелі інструментів;
- відображення річкових потоків і рівнів води в режимі реального часу;
- судна в транзиті та зайнятість портів;
- генерація ГЕС та стан водосховищ;
- прогнозування (оповіщення про розливи, вплив бездощів'я).

Крок 6. Варіанти використання:

- оптимізація навігації та планування заходів у портах на основі прогнозів рівня води;
- прогнозування генерації ГЕС для стабільності мережі;
- моделювання сценаріїв повеней/посухи для зменшення ризиків;
- оцінювання впливу нових водосховищ або водних шляхів;
- підтримка екологічних оцінок і планування політики.

Місцеві гідроелектростанції, які мають відношення до змодельованих водних шляхів вздовж річок Вісла, Сян, Дністер, такі:

Польща — річки Вісла та Сян:

- Влоцлавекська гідроелектростанція

(місцезнаходження: Влоцлавек, р. Вісла, потужність 160 мВт). Вебсайт: Energia Wytwarzanie SA;

- гідроелектростанція Сяжево (планована) (місцезнаходження: Сяжево, р. Вісла, потужність 80 мВт). Вебсайт: Renewable Energy World;

- гідроелектростанція Нешава (проектована) (місцезнаходження: Нешава, р. Вісла, потужність ~57,8 мВт). Вебсайт: Royal Haskoning DHV;

- гідроелектростанція Соліна (місцезнаходження: Соліна, р. Сян, потужність 200 мВт). Вебсайт: Budowle.pl;

- гідроелектростанція Мичковце (місцезнаходження: Звезинь, р. Сян, потужність 8,32 мВт). Вебсайт: PGE Energia Odnawialna.

Україна — річка Дністер:

- Дністровська гідроелектростанція (розташування: Новодністровськ, р. Дністер, потужність 702 мВт). Вебсайт: Вікіпедія.

- Дністровська гідроакумуюча електростанція (розташування: Сокиряни, р. Дністер, потужність 1296 мВт (планована загальна 2268 мВт). Вебсайт: Вікіпедія.

- Дністровська ГЕС-2 (розташування: нижче за течією від Дністровської ГЕС-1, р. Дністер, потужність 40,8 мВт). Вебсайт: Вікіпедія.

Наведена інформація свідчить про добрий гідроелектричний потенціал річок запропонованого Балтійсько-Чорноморського водного шляху.

Враховуючи найкоротший шлях від Балтійського моря до Чорного вздовж річок Вісла—Сян—Дністер, нинішній рівень технологій (один кілометр водного шляху поглиблюється впродовж однієї доби), а також відсутність воєнних небезпек на кордонах країн, прокладання маршруту вздовж запропонованого Балтійсько-Чорноморського водного шляху стає важливою альтернативою та доповненням до раніше запропонованого проекту по лінії річок Прип'ять і Дніпро. У цій статті запропоновано моніторинг екологічної геофізичної ситуації в Україні, Польщі та сусідніх країнах по лінії водних течій річок, що

впадають в Чорне та Балтійське моря. Як видно на карті (рис. 2), спрямування водного шляху з Чорного моря до Балтійського частково пролягає сухопутною ділянкою, на якій необхідно прокласти водний канал з Львівської області (Україна) до Польщі з необхідністю дістатися водної течії р. Сян, далі до р. Вісла в Польщі, а потім на північ через територію Польщі до Балтійського моря. Внутрішні споруди басейну водного шляху повинні бути придатними для річкового флоту. Важливим аспектом розвідки є пошук місць, де можуть знаходитися підземні резервуари води та озера в басейні річок, щоб забезпечити наповнення водних шляхів. У цьому розумінні важливими є сейсмічні дослідження, які сприятимуть збереженню водних ресурсів у підземних резервуарах при різних сейсмічних струшуваннях і можливих вибухах, і для завчасного попередження пошкоджень певних споруд на водному шляху річок Вісла—Сан—Дністер.

Сьогодні аномальні ситуації, що виникають внаслідок різких змін метеорологічних умов, аномальної спеки або, навпаки, похолодання в різні пори року [Starodub et al., 2020] призводять до повеней на річках і водосховищах, різкої зміни льодового режиму, влітку — до численних випадків пожеж і загорянь через високі літні температури [Starodub et al., 2022]. З огляду на ці виклики існує нагальна потреба в розробці ефективних стратегій реагування для пом'якшення потенційних катастрофічних наслідків цих погодних явищ, особливо в контексті триваючої війни в Україні. При цьому використання супутників і безпілотних літаючих апаратів для цілей спостережень надає значні можливості.

Сейсмічність уздовж Балтійсько-Чорноморського водного шляху. На рис. 3 і 4 показано, що новий проєктований водний судноплавний канал в Україні має проходити через сейсмічно активні регіони. Враховуючи, що на сьогодні не всі існуючі річки є судноплавними, в майбутньому необхідно завершити будівництво нових гідротехнічних споруд вздовж усього каналу. Відділ сейсмічності Карпатського регі-



Рис. 2. Течія р. Сян у Польщі поблизу кордону з Україною, де неподалік від Львова витікає р. Дністер. Штрихованою лінією показано шлях, де необхідно зробити канал від р. Сян до басейну р. Дністер.

Fig. 2. The course of the San River in Poland near the border with Ukraine, where the Dniester River Lviv. The dashed line shows the path where it is necessary to build a canal from the San River to the Dniester River basin.

ону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України вивчає сучасну сейсмічність досліджуваного регіону.

За результатами спостережень на сейсмічних станціях Карпатського регіону України у 2023 р. отримано основні параметри 81 землетрусу в межах енергетичних класів $KR=5,8\div13,7$. Загальна вивільнена енергія в регіоні становила $\Sigma E=9,06\cdot10^{13}$ Дж, що дещо вище за рівень попереднього року ($\Sigma E=5,06\cdot10^{13}$ Дж). Підвищена сейсмічна активність спостерігалась у трьох сейсмічно активних зонах. Так, у Північно-Західному регіоні зареєстровано 19 землетрусів енергетичного класу $KR=5,7\div13,7$. Їхня загальна сейсмічна енергія становила $\Sigma E=5,02\cdot10^{13}$ Дж. Найсильніші землетруси у цьому районі: землетрус, що стався у 2023 р. 9 жовтня о 18:23 у Словаччині, поблизу міста Гуменне, з енергетичним класом $KR=13,7$ та інтенсивністю 8 балів в епіцентрі, а також землетрус на Закарпатті, поблизу села Довге 3 січня 2023 р.

о 13:28 з магнітудою $MSH=3,1$ і $KR=10,7$ на глибині $h=9,6$ км та інтенсивністю в епіцентрі близько 5 балів. У Південних

Карпатах зареєстровано 29 землетрусів з $KR=8,8\div13,0$ на глибині 2—35 км із загальною сейсмічною енергією $\Sigma E=3,72\cdot10^{13}$ Дж.

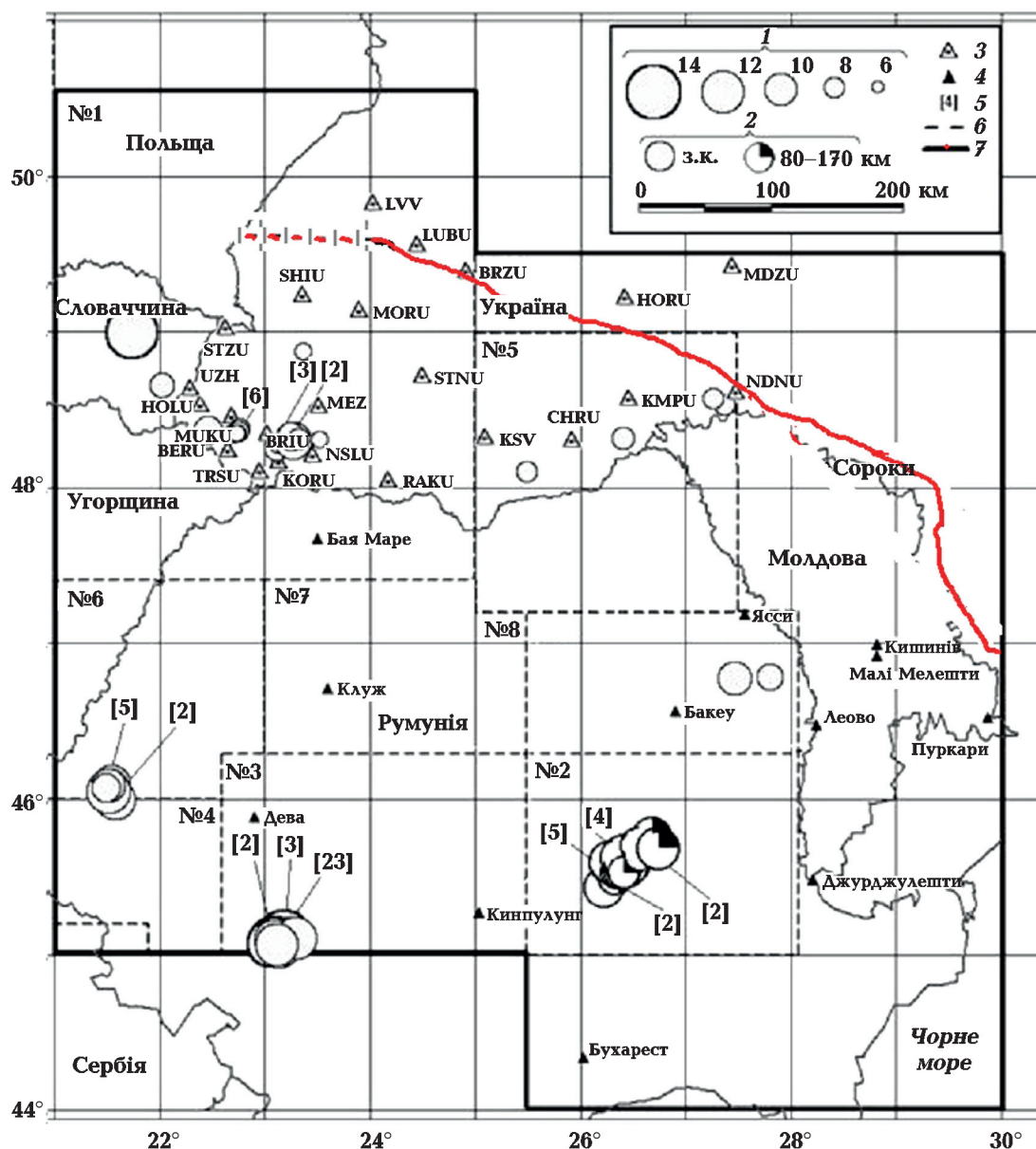


Рис. 3. Карта епіцентрів землетрусів Карпат за 2023 р.: 1 — енергетичний клас, 2 — глибина вогнища, км, 3 — українські сейсмічні станції, 4 — зарубіжні сейсмічні станції, 5 — кількість землетрусів з епіцентрами, 6 — межі сейсμοактивних районів (1 — Північно-Західний, 2 — Вранча, 3 — Південні Карпати, 4 — Банат, 5 — Буковина, 6 — Кришана, 7 — Трансильванія, 8 — Бакеу); 7 — межа регіону [Пронишин та ін., 2024]. Штрихованою і суцільною лініями показано шлях, де необхідно зробити водний канал від р. Сян, далі по басейну р. Дністер, на кордоні з Молдовою до Чорного моря.

Fig. 3. Map of the epicentres of the Carpathian earthquakes, 2023: 1 — energy class, 2 — focal depth in km, 3 — Ukrainian seismic stations, 4 — foreign seismic stations, 5 — number of earthquakes with the same epicentres, 6 — boundaries of seismically active areas (1 — North-Western, 2 — Vrancea, 3 — Southern Carpathians, 4 — Banat, 5 — Bukovina, 6 — Krishana, 7 — Transylvania, 8 — Bacau); 7 — the border of the region [Pronyshyn et al., 2024]. The dashed and solid lines show the path where it is necessary to build a water canal from the San River, further along the Dniester River basin, on the border with Moldova to the Black Sea.

Крішанський район став третім за активністю того року за сейсмічними проявами після тривалого сейсмічного затишшя. Було зафіксовано вісім землетрусів з $KR=7,6\div 12,3$ із загальною сейсмічною енергією $\Sigma E = 2,56 \cdot 10^{12}$ Дж.

Осередки землетрусів знаходилися в земній корі на глибині $h=2,0\div 15,1$ км. 2025 р. район Вранча був менш активним, ніж попереднього року (див. рис. 4). За весь цей рік було зафіксовано 19 подій з $KR=8,4\div 11,5$, загальна сейсмічна енергія

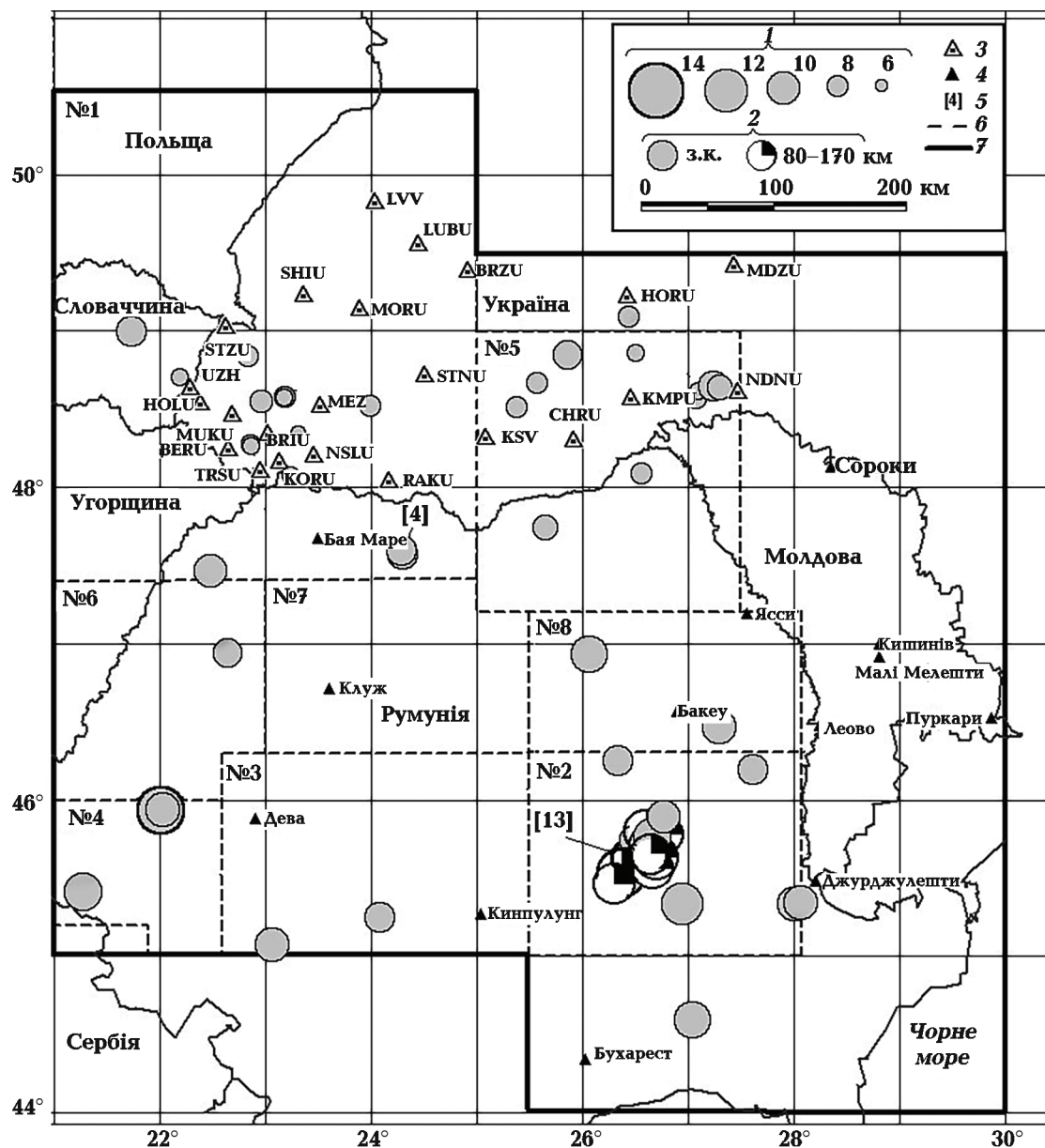


Рис. 4. Карта епіцентрів землетрусів Карпат за 2024 р.: 1 — енергетичний клас, 2 — глибина вогнища, км, 3 — українські сейсмічні станції, 4 — зарубіжні сейсмічні станції, 5 — кількість землетрусів з однаковими епіцентрами, 6 — межі сейсμοактивних районів (1 — Північно-Західний, 2 — Вранча, 3 — Південні Карпати, 4 — Банат, 5 — Буковина, 6 — Крішана, 7 — Трансильванія, 8 — Бакеу); 7 — межа регіону [Пронишин та ін., 2025].

Fig. 4. Map of the epicentres of the Carpathian earthquakes for 2024: 1 — energy class, 2 — focal depth in km, 3 — Ukrainian seismic stations, 4 — foreign seismic stations, 5 — number of earthquakes with the same epicentres, 6 — boundaries of seismically active areas: 1 — North-Western, 2 — Vrancea, 3 — Southern Carpathians, 4 — Banat, 5 — Bukovina, 6 — Krishana, 7 — Transylvania, 8 — Bacau; 7 — the border of the region [Pronyshyn et al., 2025].

яких становила $\Sigma E = 6,41 \cdot 10^{11}$ Дж. На території Буковини сейсмічна активність 2025 р. знизилася також порівняно з 2022 р. Всього зареєстровано чотири землетруси з енергетичним класом $KR = 5,8 \div 7,8$. Загальна сейсмічна енергія $\Sigma E = 1,05 \cdot 10^8$ Дж. Осередки землетрусів виявлені в земній корі на глибині $h = 1,1 \div 5$ км. У регіоні Бакеу в 2023 р. було зареєстровано лише два слабкі землетруси, а в регіоні Трансільванії — жодного [Пронишин та ін., 2024]. Період затишшя тут характеризується накопиченням сейсмічної енергії та підготовкою майбутніх землетрусів.

За результатами спостережень на сейсмічних станціях Карпатського регіону України в 2024 р. отримано основні параметри 55 землетрусів у діапазоні енергетичних класів $KR = 5,5 \div 12,4$. Загальна виділена енергія в регіоні становила $\Sigma E = 4,09 \cdot 10^{12}$ Дж, що нижче рівня минулого року — $\Sigma E = 9,06 \cdot 10^{13}$ Дж [Пронишин та ін., 2025]. Проте, аналізуючи сейсмічність регіону за більший період, можна зробити ви-

сновок, що кількість землетрусів і виділена енергія залишаються приблизно на одному рівні з деякими відхиленнями по роках.

Будівництво гідротехнічних споруд у сейсмічно активних зонах в Україні регулюється державними будівельними нормами (ДБН), положення яких встановлюють спеціальні вимоги до гідротехнічних споруд, розташованих у районах з нормативною сейсмічністю 6 балів і вище (рис. 5). Згідно з ДБН В.1.1 12:2014, досліджуваний регіон розташований у районах з нормативною сейсмічністю 6 та 7 балів. Тому під час проєктування нових гідротехнічних споруд залежно від їх класів відповідальності необхідно проводити спеціальні дослідження для встановлення розрахункової сейсмічності та визначення розрахункових сейсмічних впливів.

В Україні є досвід експлуатації великих гідроелектростанцій, таких як Дністровська, яка є однією з найбільших гідроакмулюючих електростанцій у світі. У статті [Savchyn, Pronyshyn, 2020] стверджується,

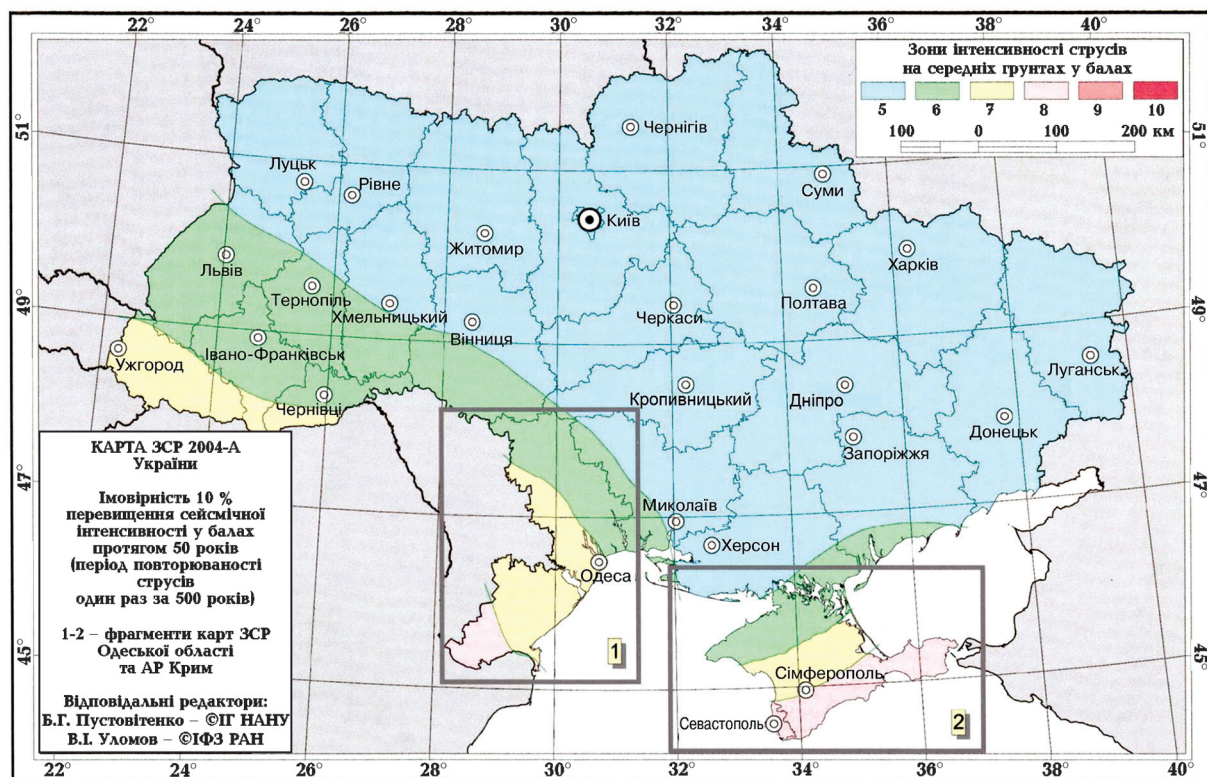


Рис. 5. Карта загального сейсмічного районування ЗСР-2004-А території України [ДБН В.1.1-12:2014].

Fig. 5. ZCP-2004-A map of the general seismic zoning of the territory of Ukraine [ДБН В.1.1-12:2014].

що зміна рівня води у водосховищах часто призводить до значного підвищення локальної сейсмічної активності.

Пожежонебезпека регіону. Балтійсько-Чорноморський водний шлях переважно проходить лісистою місцевістю. В Україні — це здебільшого Карпатський регіон та лісостепова зона. Аналізуючи та порівнюючи дані про території, особливо про сейсмічно активні райони України, де для різних об'єктів (будівель і споруд), а також для лісистих територій існує реальна небезпека виникнення масштабних пожеж, необхідно передбачити аналіз результатів обробки супутникових знімків і даних безпілотних літальних апаратів для територій, де аварійно-рятувальні служби повинні проводити профілактичні роботи з усунення пожежних і небезпечних техногенних ризиків. У цих районах для ефективної боротьби з лісовими пожежами, особливо в регіонах поблизу каналів і річок, зона виявлення повинна бути менше 1 гектара, а площа пожежі на момент гасіння не повинна перевищувати 5 гектарів. Для цього в методології космічного моніторингу пожеж може використовуватися, наприклад, інформація з удосконаленого радіометра високої роздільної здатності (AVHRR), що передається супутником NOAA, доповнена даними з дронів. Методологія виявлення пожеж базується на використанні оцінок випромінювання для каналів AVHRR 3, 4, 5 та відомих даних дронів Mavic 3D (теплові), що відповідають інфрачервоному спектру. Пожежі визначаються як екстремальні значення випромінювання третього каналу AVHRR. Димові шлейфи від пожеж добре виявляються в першому та другому каналах AVHRR (видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах відповідно). Для більш точної ідентифікації пожеж використовують алгоритми визначення порогових значень виникнення пожеж.

На температурній карті центрально-західної частини України (рис. 6) виділено райони, де ризик руйнувань зростає через сейсмічну активність і температури. Випромінювання реєструються на третьо-

му і четвертому каналах приладу AVHRR (використане зображення відкалібровано для температур до 30 °C). Отримано температурну карту України в спекотні літні дні 2022 та 2023 р.

Високі температури підвищують ризики пожеж на фоні землетрусів від сейсмічності та пожеж, пов'язаних із усіма факторами разом узятими. Регіональні сейсмічні дані аналізуються в поєднанні з критичною температурною ситуацією, яка складається в літні місяці.

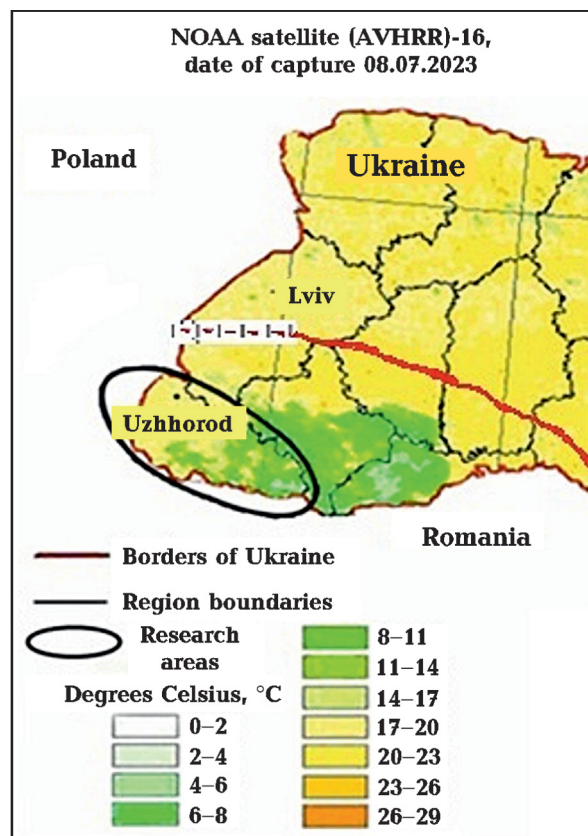


Рис. 6. Температурна карта центрально-західної частини України. Виділено райони, де ризик руйнування збільшується через можливу сейсмічну активність, що посилюється через війну. Суцільною лінією показано шлях, де необхідно побудувати водний канал від р. Сян, далі вздовж басейну р. Дністер, на кордоні з Молдовою до Чорного моря.

Fig. 6. Temperature map of the central-western region of Ukraine highlighting areas where the risk of destruction increases due to possible seismic activity, exacerbated by the war. Solid line shows the path where it is necessary to build a canal from the San River, further along the Dniester River basin, on the border with Moldova to the Black Sea.

Передбачається, що вплив температур навколишнього середовища призводить до ефекту доміно під час виникнення катастрофічних сейсмогеологічних подій. Додатково планується використовувати дані візуальних спостережень, зокрема за допомогою безпілотних літальних апаратів на лінії водних потоків річок Західної України (Дністер і Західний Буг). Розробка геопорталу для водного шляху дасть змогу відстежувати тренд пожежної небезпеки у певних районах шляхом внесення всіх викликів до відповідної бази даних і відображення їх на карті.

За даними карти можна відстежувати надзвичайні ситуації та робити висновки для керівництва щодо збільшення витрат на пожежогасіння та сприяння боротьбі з причинами геологічних надзвичайних ситуацій у відповідній місцевості, а також підсилення перевірок як житлових приміщень, так і промислових об'єктів на відповідність нормам пожежної та цивільної безпеки [Стародуб та ін., 2023; Starodub et al., 2023, 2024]. Розроблена геоінформаційна система моніторингу надзвичайних ситуацій дасть змогу оперативно інформувати цивільні та пожежні служби про виникнення пожеж як у природних екосистемах, так і на цивільних об'єктах і гідротехнічних будівлях для мінімізації можливих катастрофічних наслідків. Підрозділи цивільного та протипожежного захисту в своїх практичних завданнях мають можливості використовувати засоби для захисту цивільних об'єктів від пожеж, зокрема гідротехнічних споруд, розташованих вздовж лінії Балтійсько-Чорноморського водного шляху.

Всі гідротехнічні споруди, що розташовані вздовж водного шляху, мають бути надійно захищені від термічного негативного впливу вогню. З метою використання різних способів захисту об'єктів і споруд від пожеж пропонується використання вогнезахисних покриттів на основі модифікованих полімерних композитів. Для захисту дерев'яних конструкцій або елементів конструкцій від негативного впливу пожеж у конкретному середовищі запропонува-

но використовувати металкоординовані [Lavrenyuk et al., 2020a,b; Mykhalichko et al., 2025] епоксіамінні композиції зі зниженою пожежною небезпекою [Lavrenyuk, Mykhalichko, 2018, 2019; Лавренюк та ін., 2018; Lavrenyuk et al., 2019]. Співавтори дослідження [Mykhalichko, Lavrenyuk, 2022] розробили унікальну технологію вогнезахисту об'єктів і конструкцій, зокрема конструкції з деревини, і провели випробування вогнестійкості покриттів, виготовлених з вогнестійкого композиту на основі епоксіамінних полімерів, модифікованих солями перехідних металів.

Висновки. У статті розглянуті питання еколого-геофізичного моніторингу вздовж запропонованого авторами нового водного шляху між Чорним і Балтійським морями. Проект нового водного шляху проходить уздовж лінії річок Вісла—Сян—Дністер і, за умови створення каналів, може з'єднувати Балтійське море з Чорним. Однак, як показано в статті, такий водний шлях потребує постійного моніторингу стану як геологічного середовища, так і екологічних систем (рослинності та лісових покривів). Для моніторингу надзвичайних ситуацій вздовж лінії річок Вісла—Сян—Дністер запропоновано поєднувати моніторинг регіональних сейсмічних даних та аналіз критичної температурної ситуації в регіоні, оскільки шлях проходить у районах зі складними гірським та передгірським рельєфами. При подальших дослідженнях пропонується залучати дані візуальних спостережень, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів на лінії водних потоків річок Західної України (Дністер і Західний Буг).

Також розглянуто важливі аспекти впровадження геоінформаційних систем для геофізичного моніторингу, прогнозування та управління ризиками надзвичайних ситуацій на водному шляху від Польщі до України. Отримання аеро- та супутникових знімків низької та середньої роздільної здатності важливе при вирішенні завдань, пов'язаних з цивільною безпекою вздовж водного шляху Вісла—Сян—Дністер.

Практична цінність запропонованого екологічно-геофізичного моніторингу для економіки та суспільства полягає в підвищенні рівня безпеки населення, пов'язаного з цивільним захистом та пожежною безпекою на досліджуваній водній лінії. Це буде досягнуто шляхом використання інформаційної системи для вирішення існуючих проблем з урахуванням контрольованої сейсмічності та температурного стану регіону. Підвищена інформативність, ефективність, надійність і

реальність прийняття дадуть змогу надійно зберегти цивільні об'єкти та будівлі в умовах сучасних природних та техногенних загроз на водному шляху від Чорного моря до Балтійського вздовж лінії річок Вісла—Сян—Дністер.

Подяки. Автори висловлюють подяку адміністрації Львівського державного університету безпеки життєдіяльності та Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, які підтримали запропоноване дослідження.

Список літератури

- ДБН В.1.1-12:2014. Державні будівельні норми України. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014, 110 с.
- Лавренюк Г.І., Михаличко Б.М., Пархоменко В.-П.О. Квантово-хімічне моделювання поведінки хелатного комплексу $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)]\text{SiF}_6$, антипірену-затвердника епоксидних смол в умовах горіння. *Питання хімії та хімічної технології*. 2018. № 3. С. 31—36.
- Проект міжнародного водного шляху e40 приречений на провал. 2026. Режим доступу: <https://necu.org.ua/proyekt-mizhnarodnogo-vodnogo-shlyahu-e40-pryrecheniy-na-proval/>.
- Пронишин Р.С., Купльовський Б.Є., Прокопишин В.І., Стецьків О.Т., Ніщіменко І.М., Келеман І.М., Герасименюк Г.А., Батюк А.Я. Сейсмічність Карпат у 2023 р. *Геофіз. журн.* 2024. Т. 46. № 5. С. 82—92. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i5.309221>.
- Пронишин, Р.С., Купльовський, Б.Є., Прокопишин, В.І., Стецьків, О.Т., Ніщіменко, І.М., Келеман, І.М., Герасименюк, Г.А., Батюк, А.Я. Сейсмічність Карпат у 2024 р. *Геофіз. журн.* 2025. Т. 47. № 5. С. 95—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i5.335308>.
- Стародуб Ю., Гаврись А., Козіонова О. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтів навантажених інженерних об'єктів. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. № 3(102). С. 88—93. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.12>.
- E40 waterway: impacts on protected areas in Poland, Belarus and Ukraine. Save Polesia. (2022). Retrieved from https://savepolesia.org/wp-content/uploads/2022/10/SavePolesia-report.-E40-waterway-impacts-on-protected-areas-in-Poland-Belarus-and-Ukraine_compressed.pdf.
- E40 waterway could expose millions of people to dangerous levels of radiation. ACRO factsheet. (2020). Retrieved from https://savepolesia.org/wp-content/uploads/2020/03/SavePolesia_Factsheet_E40-could-expose-people-to-radiation.pdf.
- Hurska, A. (2020). The E40 Waterway: Economic and Geopolitical Implications for Ukraine and the Wider Region. *Eurasia Daily Monitor*, 17(67). Retrieved from <https://jamestown.org/the-e40-waterway-economic-and-geopolitical-implications-for-ukraine-and-the-wider-region/>.
- Kazanski, M.M. (2016). *Waterways from the Baltic to the Black Sea in the Late Roman Period, and in the Great Migration Period* (pp. 191—240). Stratum plus.
- Kuźniar, P., Pisarchyk, S., & Wilk, E. (2006). Waterway of the Middle Vistula (Wisła) and the Bug. *Polish Maritime Research*, 13(S2), 13—17.
- Lavrenyuk, H., & Mykhalichko, B. (2018). DFT study on thermochemistry of the combustion of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) sulfate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (6), 42—48. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-42-48>.
- Lavrenyuk, H., & Mykhalichko, B. (2019). Principles of controlled effects on performance properties of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) carbonate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (5),

- 58—64. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-126-5-58-64>.
- Lavrenyuk, H., Mykhalichko, B., Garanyuk, P., & Mykhalichko, O. (2020a). New copper(II)-coordinated epoxy-amine polymers with flame-self-extinguishment properties: Elaboration, combustibility testing, and flame propagation rate measuring. *Fire and Materials*, 44(6), 825—834. <https://doi.org/10.1002/fam.2879>.
- Lavrenyuk, H.I., Parhomenko, V.-P.O., & Mykhalichko, B.M. (2019). The Effect of Preparation Technology and the Complexing on the Service Properties of Self-extinguishing Copper(II) Coordinated Epoxy-amine Composites for Pouring Polymer Floors. *International Journal of Technology*, 10(2), 290—299. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.66>.
- Lavrenyuk, H., Mykhalichko, B., Dziuk, B., Oliynyk, V., & Mykhalichko, O. (2020b). A new copper(II) chelate complex with polyamines as fire retardant and epoxy hardener: Synthesis, crystal and electronic structure, and thermal behavior of (ethylenediamine-N,N')-(diethylenetriamine-N,N',N'')-copper(II) hexafluoro-silicate. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 3060—3069. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.08.014>.
- Mykhalichko, B., & Lavrenyuk, H. (2022). Flame Protection Technologies for Wood: Developing and Testing for Fire of Timbers with a Flame-retardant Coating Based on the Epoxy-amine Composite Modified by Copper(II) Hexafluorosilicate. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(2), 304—312. <https://doi.org/10.3311/PPch.19050>.
- Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Oliynyk, V., Slyvka, Y., Mykhalichko, O., & Starodub, Y. (2025). Synthesis, Crystal and Electronic Structure, and Thermal Behavior of a New Flame Retardant-Hardener [Cu(diethylenetriamine)₂] Cl₂ H₂O for Epoxy Resins. *Acta Chimica Slovenica*, 72, 86—95. <https://doi.org/10.17344/acsi.2024.9051>.
- Nikolaevich, K.V., Starodub, Y., & Havrys, A. (2021). Computer modelling in the application to geothermal engineering. *Advances in Civil Engineering*, ID 6619991, 1—23. <https://doi.org/10.1155/2021/6619991>.
- Pieron, Ł., Woś, K., & Wrzosek, K. (2022). Water Reservoirs in Plans to Improve Navigability of the Lower Section of the Vistula. *Water*, 14(24), 4042. <https://doi.org/10.3390/w14244042>.
- Restoration of Inland Waterway E40 Dnieper-Vistula: from Strategy to Planning. (2015). Final Feasibility Study Report, Maritime Institute in Gdańsk, 199 p.
- Savchyn, I., & Pronyshyn, R. (2020). Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dnister Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and Geodynamics*, 11(5), 391—400. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001>.
- Starodub, G., & Gnyp, A. (1999). Models of the Earth's crust structure in the East Carpathian region determined from inversion of far field P-waveforms. *Acta Geophysica Polonica*, 47(4), 375—400.
- Starodub, Y., & Havrys, A. (2018). Conceptual model of portfolio management project for territories protection against flooding. *MATEC Web of Conferences* (Vol. 247, pp. 1—7). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700019>.
- Starodub, Y.P., Karabyn, V.V., Havrys, A.P., Kovachuk, V.M., Rogulia, A.O., Yemelyanenko, S.O. (2022). Geophysical research in the pre-Carpathian hydrosphere situation for the environmental civil protection purposes. *Geofizychnyi Zhurnal*, 44(4), 171—182. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264847>.
- Starodub, Y., Karpenko, V., Karabyn, V., & Shuryn, V. (2020). Mathematical modeling of the Earth heat processes for the purposes of ecotechnology and civil safety. *15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies* (pp. 146—149).
- Starodub, Yu., Mykhalichko, B., Havrys, A., Yemelynenko, S., Kozionova, O., Lavrenyuk, H. (2023). Geology Monitoring Information System for the Protection Service in Ukraine. *XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»* (pp. 1—5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520161>.
- Starodub, Yu., Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Kozionova, O., Polcik, H., Kuplyovskiy, B. (2024). Environmental geo-informational monitoring system for the civil and fire safety ser-

- vices of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(105), 104—110. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.14>.
- Starodub, Y., Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Polcik, H., Havrys, A., Kuplovskyi, B., Kozionova, O. (2025). Monitoring of the environmental and geophysical situation in the Ukrainian-Polish border area using satellite data. *EAGE, XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Retrieved from <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/15781/1/Mon25-115.pdf>.
- The E40 Waterway: The Polish Dimension. (2020). Jamestown Foundation. Retrieved from <https://jamestown.org/the-e40-waterway-the-polish-dimension/>.
- Waterway threatens Europe's Amazon. (2026) Retrieved from <https://savepolesia.org/>.
- Witkowski, K., & Meus, K. (2024). The Oder-Vistula-Dniester Canal — the infrastructural legacy of the Habsburg Empire. *Journal of Historical Geography*, 86, 149—162. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2024.08.001>.
- Ziolo, Z., Starodub, G., & Polcik, H. (2013). *Drogi wodne Europy srodkowo-wschodniej*. Dzierżówka, Kraków, 200 p.

Environmental and geophysical monitoring along the waterway between the Black Sea and the Baltic Sea

Yu.P. Starodub¹, B.M. Mykhalichko¹, H. Polcik², B.Ye. Kuplovskyi³, 2026

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²Research Institute of Foundry Production, Krakow, Poland

³S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article delineates the concept of a project that aims to define the development of geophysical aspects of the methodology for studying the feasibility of constructing a waterway from the Baltic Sea to the Black Sea along the Vistula, San, and Dniester rivers. This route is a complement and a partial alternative to the waterway along the Pripyat and Dnipro rivers.

The geophysical aspects of the methodology for assessing the possibility of ship passage along rivers associated with seismological hazards and meteorological factors are considered, particularly the heating of the territory and atmosphere. The conditions of martial law and the associated dangers (including the possibility of large-scale fires) were considered.

The work is grounded in studies cited in the authors' extant works on the use of satellites and unmanned aerial vehicles to observe the current state of the territory along the border between Ukraine and Poland.

In Ukraine, this is mostly the Carpathian region and the forest-steppe zone. Analyzing and comparing data on territories, especially on seismically unstable active regions of Ukraine, where there is a real danger of large-scale fires for various objects (buildings and structures), as well as for forested areas, the proposed solution is to jointly use and analyze the results of processing satellite images and data from unmanned aerial vehicles for territories where emergency and rescue services must carry out preventive work to eliminate fire and dangerous technological risks. In these areas, for effective control of forest fires, especially near canals and rivers, the detection zone should be less than 1 hectare, and the fire area at the time of extinguishing should not exceed 5 hectares. For this purpose, for example, information from the Advanced Very-High-Resolution Radiometer (AVHRR)

transmitted by the NOAA satellite, supplemented by data from unmanned aerial vehicles, can be used in space-based fire monitoring. The fire detection methodology is based on the use of radiation estimates for AVHRR channels 3, 4, 5, and known Mavic 3D drone data (thermal), corresponding to the infrared spectrum. Fires are defined as extreme values of the radiation of the third AVHRR channel. Smoke plumes from fires are well detected by the first and second AVHRR channels (visible and near-infrared ranges, respectively). For more accurate fire identification, algorithms for determining the threshold values of fire occurrence are used.

The temperature map of the central-western part of Ukraine highlights areas where the risk of destruction increases due to seismic activity and temperatures. Radiation is recorded by the third and fourth channels of the AVHRR device, for which the image used is calibrated for temperatures up to 30 °C. As a result, a temperature map of Ukraine on hot summer days in 2022 and 2023 is presented.

Key words: geophysical exploration, Black Sea-Baltic waterway, Vistula-San-Dniester line.

References

- DBN V.1.1-12:2014. State Building Standards of Ukraine. Construction in Seismic Areas of Ukraine (2014). Kyiv: Minregionalbud of Ukraine, Ukrarchbudinform, 110 p. (in Ukrainian).
- Lavrenyuk, H.I., Mykhalichko, B.M., Parhomenko, V.-P.O. (2018). Quantum-chemical simulation of the behavior of $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)]\text{SiF}_6$ chelate complex, a fire retardant-hardener of epoxy resins, under the conditions of burning. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (3), 31—36 (in Ukrainian).
- The project of the international waterway E40 is doomed to failure. (2026). Retrieved from <https://necu.org.ua/proyekt-mizhnarodnogo-vodnogo-shlyahu-e40-pryrechenyj-na-proval/> (in Ukrainian).
- Pronyshyn, R.S., Kuplovskiy, B.Ye, Prokopyshyn, V.I., Stetskiv, O.T., Nischimenko, I.M., Keleman, I.M., Gerasymenyuk, G.A., & Batiuk, A.Ya. (2024). The seismicity of the Carpathians in 2023. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(5), 82—92. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i5.309221> (in Ukrainian).
- Pronyshyn, R.S., Kuplovskiy, B.Ye, Prokopyshyn, V.I., Stetskiv, O.T., Nischimenko, I.M., Keleman, I.M., Gerasymenyuk, G.A., & Batiuk, A.Ya. (2025). The seismicity of the Carpathians in 2024. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(5), 95—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i5.335308> (in Ukrainian).
- Starodub, Y., Havrys, A., & Kozionova, O. (2023). Study of the stress-deformed state of soils of loaded engineering objects. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(102), 88—93. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.12> (in Ukrainian).
- E40 waterway: impacts on protected areas in Poland, Belarus and Ukraine. Save Polesia. (2022). Retrieved from https://savepolesia.org/wp-content/uploads/2022/10/SavePolesia-report.-E40-waterway-impacts-on-protected-areas-in-Poland-Belarus-and-Ukraine_compressed.pdf.
- E40 waterway could expose millions of people to dangerous levels of radiation. ACRO factsheet. (2020). Retrieved from https://savepolesia.org/wp-content/uploads/2020/03/SavePolesia_Factsheet_E40-could-expose-people-to-radiation.pdf.
- Hurska, A. (2020). The E40 Waterway: Economic and Geopolitical Implications for Ukraine and the Wider Region. *Eurasia Daily Monitor*, 17(67). Retrieved from <https://jamestown.org/the-e40-waterway-economic-and-geopolitical-implications-for-ukraine-and-the-wider-region/>.
- Kazanski, M.M. (2016). *Waterways from the Baltic to the Black Sea in the Late Roman Period, and in the Great Migration Period* (pp. 191—240). Stratum plus.
- Kuźniar, P., Pisarchyk, S., & Wilk, E. (2006). Waterway of the Middle Vistula (Wisła) and the Bug. *Polish Maritime Research*, 13(S2), 13—17.
- Lavrenyuk, H., & Mykhalichko, B. (2018). DFT study on thermochemistry of the combustion of self-extinguishing epoxy-amine composites

- modified by copper(II) sulfate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (6), 42—48. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-42-48>.
- Lavrenyuk, H., & Mykhalichko, B. (2019). Principles of controlled effects on performance properties of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) carbonate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (5), 58—64. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-126-5-58-64>.
- Lavrenyuk, H., Mykhalichko, B., Garanyuk, P., & Mykhalichko, O. (2020a). New copper(II)-coordinated epoxy-amine polymers with flame-self-extinguishment properties: Elaboration, combustibility testing, and flame propagation rate measuring. *Fire and Materials*, 44(6), 825—834. <https://doi.org/10.1002/fam.2879>.
- Lavrenyuk, H.I., Parhomenko, V.-P.O., & Mykhalichko, B.M. (2019). The Effect of Preparation Technology and the Complexing on the Service Properties of Self-extinguishing Copper(II) Coordinated Epoxy-amine Composites for Pouring Polymer Floors. *International Journal of Technology*, 10(2), 290—299. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.66>.
- Lavrenyuk, H., Mykhalichko, B., Dziuk, B., Oliynyk, V., & Mykhalichko, O. (2020b). A new copper(II) chelate complex with polyamines as fire retardant and epoxy hardener: Synthesis, crystal and electronic structure, and thermal behavior of (ethylenediamine-N,N')-(diethylenetriamine-N,N',N'')-copper(II) hexafluoro-silicate. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 3060—3069. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.08.014>.
- Mykhalichko, B., & Lavrenyuk, H. (2022). Flame Protection Technologies for Wood: Developing and Testing for Fire of Timbers with a Flame-retardant Coating Based on the Epoxy-amine Composite Modified by Copper(II) Hexafluorosilicate. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(2), 304—312. <https://doi.org/10.3311/PPch.19050>.
- Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Oliynyk, V., Slyvka, Y., Mykhalichko, O., & Starodub, Y. (2025). Synthesis, Crystal and Electronic Structure, and Thermal Behavior of a New Flame Retardant-Hardener [Cu(diethylenetriamine)₂] Cl₂ · H₂O for Epoxy Resins. *Acta Chimica Slovenica*, 72, 86—95. <https://doi.org/10.17344/acsi.2024.9051>.
- Nikolaevich, K.V., Starodub, Y., & Havrys, A. (2021). Computer modelling in the application to geothermal engineering. *Advances in Civil Engineering*, ID 6619991, 1—23. <https://doi.org/10.1155/2021/6619991>.
- Pieron, Ł., Woś, K., & Wrzosek, K. (2022). Water Reservoirs in Plans to Improve Navigability of the Lower Section of the Vistula. *Water*, 14(24), 4042. <https://doi.org/10.3390/w14244042>.
- Restoration of Inland Waterway E40 Dnieper-Vistula: from Strategy to Planning. (2015). Final Feasibility Study Report, Maritime Institute in Gdańsk, 199 p.
- Savchyn, I., & Pronyshyn, R. (2020). Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dnister Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and Geodynamics*, 11(5), 391—400. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001>.
- Starodub, G., & Gnyp, A. (1999). Models of the Earth's crust structure in the East Carpathian region determined from inversion of far field P-waveforms. *Acta Geophysica Polonica*, 47(4), 375—400.
- Starodub, Y., & Havrys, A. (2018). Conceptual model of portfolio management project for territories protection against flooding. *MATEC Web of Conferences* (Vol. 247, pp. 1—7). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700019>.
- Starodub, Y.P., Karabyn, V.V., Havrys, A.P., Kovachuk, V.M., Rogulia, A.O., Yemelyanenko, S.O. (2022). Geophysical research in the pre-Carpathian hydrosphere situation for the environmental civil protection purposes. *Geofizychnyi Zhurnal*, 44(4), 171—182. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264847>.
- Starodub, Y., Karpenko, V., Karabyn, V., & Shuryhin, V. (2020). Mathematical modeling of the Earth heat processes for the purposes of ecotechnology and civil safety. *15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies* (pp. 146—149).
- Starodub, Yu., Mykhalichko, B., Havrys, A., Yemelynenko, S., Kozionova, O., Lavrenyuk, H. (2023). Geology Monitoring Information System for the Protection Service in Ukraine. *XVII International Scientific Conference «Monitor-*

- ing of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»* (pp. 1—5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520161>.
- Starodub, Yu., Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Kozionova, O., Polcik, H., Kuplyovskyi, B. (2024). Enviromental geo-informational monitoring system for the civil and fire safety services of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(105), 104—110. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.14>.
- Starodub, Y., Mykhalichko, B., Lavrenyuk, H., Połcik, H., Havrys, A., Kuplovskyi, B., Kozionova, O. (2025). Monitoring of the environmental and geophysical situation in the Ukrainian-Polish border area using satellite data. *EAGE, XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Retrieved from <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/15781/1/Mon25-115.pdf>.
- The E40 Waterway: The Polish Dimension. (2020). Jamestown Foundation. Retrieved from <https://jamestown.org/the-e40-waterway-the-polish-dimension/>.
- Waterway threatens Europe's Amazon. (2026) Retrieved from <https://savepolesia.org/>.
- Witkowski, K., & Meus, K. (2024). The Oder-Vistula-Dniester Canal — the infrastructural legacy of the Habsburg Empire. *Journal of Historical Geography*, 86, 149—162. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2024.08.001>.
- Ziolo, Z., Starodub, G., & Polcik, H. (2013). *Drogi wodne Europy srodkowo-wschodniej*. Dzierżówka, Kraków, 200 p.