

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ INFORMATION TECHNOLOGY AND MATHEMATICAL MODELING

UDK 528.83/.88:(504:627.8)](477.41)

**Oleksandr Azimov**<sup>1</sup>, D. S. (Geology), Head Researcher  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5210-3920> *e-mail*: [azimov@casre.kiev.ua](mailto:azimov@casre.kiev.ua)

**Vasyl Trysnyuk**<sup>2</sup>, D. S. (Engineering), Professor, Head of Department  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9920-4879> *e-mail*: [trysnyuk@ukr.net](mailto:trysnyuk@ukr.net)

**Oleksii Shevchenko**<sup>3</sup>, D. S. (Geology), Head Researcher  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354> *e-mail*: [shevch62@gmail.com](mailto:shevch62@gmail.com)

**Olga Tomchenko**<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099> *e-mail*: [tomch@i.ua](mailto:tomch@i.ua)

**Artem Andreiev**<sup>1</sup>, PhD, Junior Researcher  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6485-449X> *e-mail*: [artem.a.andreev@gmail.com](mailto:artem.a.andreev@gmail.com)

**Sergii Kireev**<sup>4</sup>, General Director  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-3655> *e-mail*: [kireev@ecocentre.kiev.ua](mailto:kireev@ecocentre.kiev.ua)

<sup>1</sup>Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Ukrainian Research Hydrometeorological Institute under the Ministry for Emergencies and NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup>State Specialized Enterprise "Ecocentre", Chornobyl, Ukraine

## ASSESSMENT OF THE CURRENT COMPONENT OF UNDERFLOODING WITHIN THE TERRITORY OF THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE BY THE METHODS OF REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

**Abstract.** According to the results of the thematic interpretation of the satellite imaging data for the recent years in the territory of the Prypiat Left-Bank Drainage System of the Chornobyl Exclusion Zone, the probable onset of the multi-aqueous phase of water content in the frame of the full hydrological cycle is predicted at the end of 2022. The attribute of multi-water phase emerging is emphasized by statistical data relatively an increase of the total amount of atmospheric precipitation in the cold period during September-October-November-December 2022 and 2023 within the entire catchment basin for the left-bank part of the Prypiat River. These data are fully consistent with the established trend of increasing extents of <sup>90</sup>Sr activity, which is carried away with runoff from the left-bank polder area. According to the calculated estimates of <sup>90</sup>Sr activity levels, 0.02 and 0.034 TBq could be removed in 2022 and 2023, respectively. This radioactive carryover increased by 6.4 times, if 2021 is compared with 2023 and by 34 times, if 2020 compared with 2023. Thus, a direct

relationship is observed between the  $^{90}\text{Sr}$  activity levels removed from the territory of the left-bank polder to the Prypiat River with the values  $^{90}\text{Sr}$  of the areas of the open water surface mapped by means of remote sensing technologies within its boundaries, and the values  $^{90}\text{Sr}$  of the total amount of atmospheric precipitation in the cold period of the year on the adjacent left-bank part of the water catchment basin of the Prypiat River. Hence, the prediction as to the growing  $^{90}\text{Sr}$  activity levels due to its removal with the runoff from the area of the left-bank polder to the Prypiat River in 2024-2026, is substantiated.

**Keywords:** Chernobyl Exclusion Zone, Left Bank Drainage System, underflooding, monitoring, remote sensing methods, surface runoff, radionuclide carry-over.

О.Т. Азімов<sup>1</sup>, В.М. Триснюк<sup>2</sup>, О.Л. Шевченко<sup>3</sup>, О.В. Томченко<sup>1</sup>, А.А. Андрєєв<sup>1</sup>, С.І. Кіреєв<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та НАН України, м. Київ, Україна

<sup>4</sup>Державне спеціалізоване підприємство “Екоцентр”, м. Чорнобиль, Україна

## ОЦІНКА СУЧАСНОЇ СКЛАДОВОЇ ПІДТОПЛЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Анотація.** За результатами тематичного дешифрування матеріалів космічних знімів останніх років на території Прип'ятської лівобережної осушувальної системи Чорнобильської зони відчуження прогнозувалося вірогідне настання наприкінці 2022 р. багатоводної фази водності в рамках повного гідрологічного циклу. Встановлено зростання обводнення території у 2022 і 2023 рр. порівняно з попередніми роками. Ознака формування багатоводної фази підкреслюється статистичними даними щодо відносного збільшення у холодний період протягом вересня-жовтня-листопада-грудня 2022 і 2023 рр. сумарної кількості атмосферних опадів у межах усієї території лівобережної частини водозбірного басейну р. Прип'ять. З цими даними цілком узгоджується встановлена тенденція до зростання обсягів активності  $^{90}\text{Sr}$ , що виносяться зі стоком з району лівобережного польдера. За розрахунковими оцінками обсягів активності  $^{90}\text{Sr}$  у 2022 і 2023 рр. могло бути винесено відповідно 0,02 та 0,034 ТБк. Порівняно з 2021 р. у 2023 р. це винесення зросло у 6,4 раза, а порівняно з 2020 р. – у 34 раза. Таким чином, простежується пряма залежність між винесеними з території лівобережного польдера до р. Прип'ять обсягами активності  $^{90}\text{Sr}$  зі значеннями площ відкритої водної поверхні, закартованих засобами дистанційних технологій в її межах, та значеннями сумарної кількості атмосферних опадів у холодний період року на прилеглий лівобережній частині водозбірного басейну р. Прип'ять. У зв'язку з цим обґрунтовується прогноз щодо зростання у 2024-2026 рр. обсягів активності  $^{90}\text{Sr}$ , що виноситиметься зі стоком з району лівобережного польдера до р. Прип'ять.

**Ключові слова:** Чорнобильська зона відчуження, лівобережна осушувальна система, підтоплення, моніторинг, дистанційні методи, поверхневий стік, винесення радіонуклідів.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.95-110>

## Постановка проблеми, цілі та завдання роботи

Постановка проблеми досліджень просторово-часових змін у чутливій до них системі «поверхневі води – суходіл» аргументується необхідністю розробки ефективних підходів стосовно захисту відкритих водойм територій від екологічно небезпечних полютантів, що можуть надходити власне зі сторони суходолу або ж інших, забрудненіших водних об'єктів. Подібні процеси стосуються й вторинного забруднення водойм техногенними радіонуклідами [1–5 та ін.]. Означена **проблема є актуальною** й для території **Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ)**, зокрема, й для розташованої в її межах *Прип'ятської лівобережної осушувальної системи* [1–3].

Територія Зони відчуження наразі переважно являє собою Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник [6]. З аналізу відповідної картосхеми слідує, що південно-східна частина заповідника охоплює пониззя р. Прип'ять в районі її впадіння до Київського водосховища, а також північно-західне верхів'я останнього. Отож, процеси перерозподілу радіонуклідів чорнобильського походження, що відбуваються в межах лівобережної меліоративної системи ЧЗВ, через водні потоки (в основному поверхневі, меншою мірою підземні) потенційно впливають на радіоекологічний стан як території Зони зокрема, так і біосферного заповідника загалом. Разом з тим відомо [7], що близько 70% українців у побуті використовує дніпровську воду. Принаймні така статистика була дійсною до 24 лютого 2022 р., тобто до початку воєнної агресії проти нашої держави з боку росії. Таким чином, існує гостра необхідність у контролі та запобіганні міграції радіонуклідів водним шляхом із території ЧЗВ у басейн р. Дніпро з метою зниження витрат на очищення води, особливо питного споживання, та для зменшення дозового навантаження на населення України.

Отже, з-поміж ряду завдань у вирішенні зазначеної комплексної проблеми головною **ціллю** роботи є виконання аналізу стану поточної ситуації щодо поширення водної поверхні на території Прип'ятської лівобережної осушувальної системи, яка й являє собою район детальних досліджень. Основним інформаційним ресурсом при цьому є наявні актуальні матеріали дистанційних знімань. Вагомим **завданням** роботи також є здійснення оцінки ефективності експлуатації водоохоронного комплексу в межах системи, зокрема, після припинення у 2015 р. постійного функціонування розташованої тут польдерної насосної станції (ПНС), з акцентуацією на особливості радіоекологічної обстановки, що таким чином виникла в її межах.

## Аналіз результатів попередніх досліджень й публікацій

Комплекс наземних гідрологічних, радіоекологічних і сучасних дистанційних методів у процесі моніторингових досліджень важкодоступних, заболочених, значною мірою радіонуклідно забруднених територій, зокрема території ЧЗВ і прилеглих до неї ділянок, активно почав застосовуватися приблизно через 10 років після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р., тобто з середини 1990-х рр. [1–3, 5, 8–11 та ін.]. Використовуючи наявні дані космічного знімання (переважно з супутників LANDSAT та SPOT), отримано інформацію про просторово-часові зміни гідролого-радіоекологічної ситуації в районі

досліджень, зокрема на міждамбовій площі (між «старою» та «ноюю» лівобережними дамбами) та на ділянці північно-східніше від неї в межах Прип'ятської лівобережної осушувальної системи.

Після проведення у 2001-2015 рр. ряду гідротехнічних заходів та реалізації управлінських рішень стосовно форми експлуатації відповідного водоохоронного комплексу, на її території загалом встановлено незначне обводнення та заболочення. Це підтвердило радіоекологічну доцільність і обґрунтованість прийнятих рішень. Таким чином, ситуація, що склалася на той період, відображала відносну стабілізацію концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у поверхневому стоці досліджуваного району ЧЗВ.

Подібна гідролого-радіоекологічна обстановка на території, що розглядається, спостерігалася до кінця 2022 р. Наприкінці цього ж року, на підставі адекватних результатів моніторингових досліджень з залученням новітніх матеріалів, отриманих із космічних апаратів WorldView-2 та Sentinel-2, прогнозувалося вірогідне настання багатоводної фази водності в рамках повного гідрологічного циклу, причому для басейну р. Прип'ять загалом [5, 10, 11]. Проте залишилося нез'ясованим, чи матимуть ці процеси продовження в найближчі роки, що визначає **не вирішену раніше частину загальної проблеми**. Зважаючи на вплив гідрометеорологічних факторів на режим водності поверхневих об'єктів, потребували уточнення й дані про кількість атмосферних опадів по вказаній території.

Отож, представлена робота є продовженням попередніх напрацювань у напрямі аналізу гідрологічної ситуації на території Прип'ятської лівобережної осушувальної системи ЧЗВ й оцінювання обсягів винесення за її межі радіонуклідів. У ній висвітлюються основні фактичні дані, що стали основою для міркувань про тенденції у зміні як гідрологічного циклу, так і радіаційно-екологічної ситуації в районі досліджень [4].

## Матеріали та методи досліджень

Для досягнення поставленого завдання у роботі застосовувалися багатоспектральні **космічні знімки**, що отримані протягом тривалого часового періоду (переважно у квітні-травні) із супутників WorldView-2 (від 26.05.2018 р. і 06.04.2022 р.) та Sentinel-2 (від 02.05.2023 р. і 09.04.2024 р.) та мають вихідну просторову розрізненість відповідно 0,5 і 10 м/пкл. Проте задля отримання порівнянних результатів за матеріалами знімання цих космічних апаратів просторова розрізненість зображень WorldView-2 насамперед цілеспрямовано була генералізована до 6 м/пкл.

Для вибірки, збору та накопичення даних стосовно **кількості атмосферних опадів**, що випадали на території досліджень, використані можливості платформи ERA5 [12]. Просторова розрізненість даних ERA5 по регіону досліджень – лівобережній частині водозбору басейну р. Прип'ять загальною площею 57 871 км<sup>2</sup> (рис. 1) – становить 11,132×11,132 км. Таким чином, на території робіт кількість опадів аналізувалася по 467 комірках площею 123,921 км<sup>2</sup> кожна. Ця частина водозбірного басейну Прип'яті майже повністю лежить в межах території Республіки Білорусь, що чітко відображає рисунок 1. На наведеному рисунку позначений контур, що окреслює багатокутний полігон – відповідну частину водозбірного басейну (так званий *shape-файл*). Таким чином комірки, що розташовані по його периметру, є неповними, так би

мовити “зрізаними” (неквадратними) пікселями. Отож, площа цього полігона є меншою за реальну площу вибору статистичних даних з опадів і становить 50 729 км<sup>2</sup>.

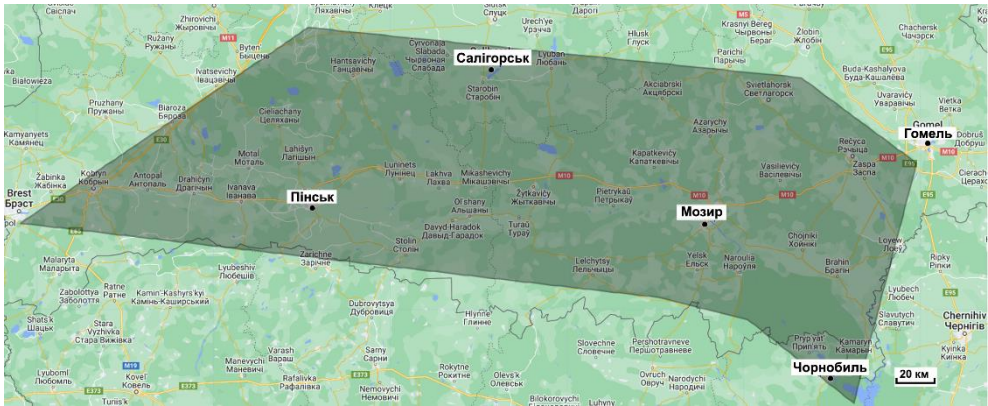


Рис. 1. Територія лівобережної частини водозбору басейну р. Прип’ять (багатокутний полігон темного відтінку кольору), статистичні дані стосовно атмосферних опадів на якій аналізувалися у дослідженнях

Порівняно з опрацьованими матеріалами щодо кількості атмосферних опадів, викладеними у публікаціях [4, 5, 10], під час виконання даних досліджень вони уточнені, оскільки й контур лівобережної частини водозбору басейну р. Прип’ять визначений коректніше.

У роботі застосовувалася **методика комп’ютерного оброблення космічних знімків** та аналізу одержаних результатів, що розроблена як попередніми дослідниками, так і авторами цієї публікації [1–3, 5, 8–10, 13, 14 та ін.]. Початково знімки було геометрично скориговано, виконана їх радіометрична корекція, географічна прив’язка.

Для чіткого виявлення за багатоспектральними супутниковими знімками відкритих водних поверхонь на фоні рослинності, відкритого ґрунту або інших відслонених осадових утворень використано **дані з нормалізованого різницевого водного індексу** (Normalized Difference Water Index – NDWI).

NDWI, відповідно до [13], розраховується за формулою (1):

$$NDWI = \frac{I_G - I_{NIR}}{I_G + I_{NIR}}, \quad (1)$$

де  $I_G$  – відбивна здатність об’єкта в зеленій (green – G) області спектра електромагнітних хвиль,  $I_{NIR}$  – відповідно у ближній інфрачервоній (near infrared – NIR) області спектра.

Територія лівобережної Прип’ятської осушувальної системи у межах ЧЗВ класифікувалася на *два основних класи*: відкрита водна поверхня і суходіл. До класу останнього, крім власне площ непокритого рослинністю ґрунту, піску, інших осадових утворень та задернованих, заліснених площ або ж таких, що зайняті різновидовим рослинним покривом різної щільності, також приналежні різноманітні техногенні об’єкти (бетонні, залізні, дерев’яні конструкції й споруди тощо).

Для вибірки статистичних даних щодо кількості атмосферних опадів з бази даних, доступ до якої надається *платформою ERA5* [12], саме для цієї території за конкретними географічними координатами та за попередньо визначеними місяцями та роками було створено програмний алгоритм та відповідну підпрограму (автор А.А. Андреев [4, 10, 11]). Певні роки визначалися роками отримання космічних знімків супутниковими системами, які залучені до дослідження. При цьому брався до уваги також кожен з років, що передував року знімання. Протягом кожного з років, дані за яким мали аналізуватися, визначалися групи місяців по два місяці в кожній групі.

Підпрограмою для взятої до розгляду території розраховувалося не середнє значення кількості атмосферних опадів по кожному з двох місяців, а їх сума за ці два місяці. Місяці було згруповано після проведення численних розрахункових ітерацій з їх комбінаціями від двох до чотирьох місяців у групі, з часовим зміщенням на 1-2 місяці таким чином, щоб встановити їх інформативність щодо формування відносної водності території досліджень.

Значення кількості атмосферних опадів визначалися у міліметрах, які умовно можна вважати прийнятними у метеорології міліметрами шару води, що випала. Адже, як зазначається у відповідному джерелі [12], з допомогою ERA5 отримується така інформація про опади: вони являють собою накопичену рідку і замерзлу воду, зокрема, воду дощів та снігу, що випадають на поверхню Землі. Загалом це сума масштабних опадів (*total precipitation*, тобто тих опадів, що генеруються масштабними погодними умовами, такими як області низького тиску та холодні фронти) та конвективних опадів (генеруються конвекцією, що виникає, коли повітря на нижніх рівнях атмосфери тепліше і менш щільне за повітря вгорі, тому воно і піднімається). Величина кількості опадів не включає туман, росу або опади, що випаровуються в атмосфері до того, як потраплять на поверхню Землі. Ця величина є накопичувальною в період від початку часу прогнозу до кінця кроку прогнозу.

## **Викладення основного матеріалу досліджень й обговорення одержаних наукових результатів**

На підставі аналізу матеріалів багатоспектральних космічних знімків отримано тематично нові адекватні результати, що стали інформативними у процесі оцінювання гідрологічної та радіоекологічної обстановки на території лівобережної Прип'ятської системи. Найперше – **встановлено розподіл** закартованих за даними космічних знімків **площ, що** в різні роки в межах кожної з виділених окремих ділянок деталізації були **зайняті водною поверхнею** або суходолом. Це ділянки між старою та новою дамбами (ділянка № 1) та ділянка на північний схід від старої дамби (ділянка № 2). Особливий інтерес являють новітні дані WorldView-2 від 06.04.2022 р. та Sentinel-2 від 02.05.2023 р. і 09.04.2024 р. (рис. 2, 3).

Раніше встановлені [2, 3, 5, 8, 9] за космічними знімками факти відносно незначного обводнення ділянки між старою та новою лівобережними дамбами, у 2018 р. мали чітку тенденцію до пролонгації, принаймні майже до середини весни 2022 р. Зокрема, помітно істотніше зменшення площі, що була покрита водною поверхнею в районі досліджень, виявлено за знімком з супутника **WorldView-2 від 06.04.2022 р.** Це очевидно з порівняння результатів,

отриманих унаслідок тематичного дешифрування даних з цього ж апарата від 26.05.2018 р. (табл. 1). Так, зайнята водною поверхнею площа на міждамбовій ділянці зменшилася до 1,93 км<sup>2</sup>, а на ділянці на північний схід від старої дамби – до 1,37 км<sup>2</sup>. У цей же час площа суходолу в їх межах становила 13,494 км<sup>2</sup> і 17,72 км<sup>2</sup> відповідно.

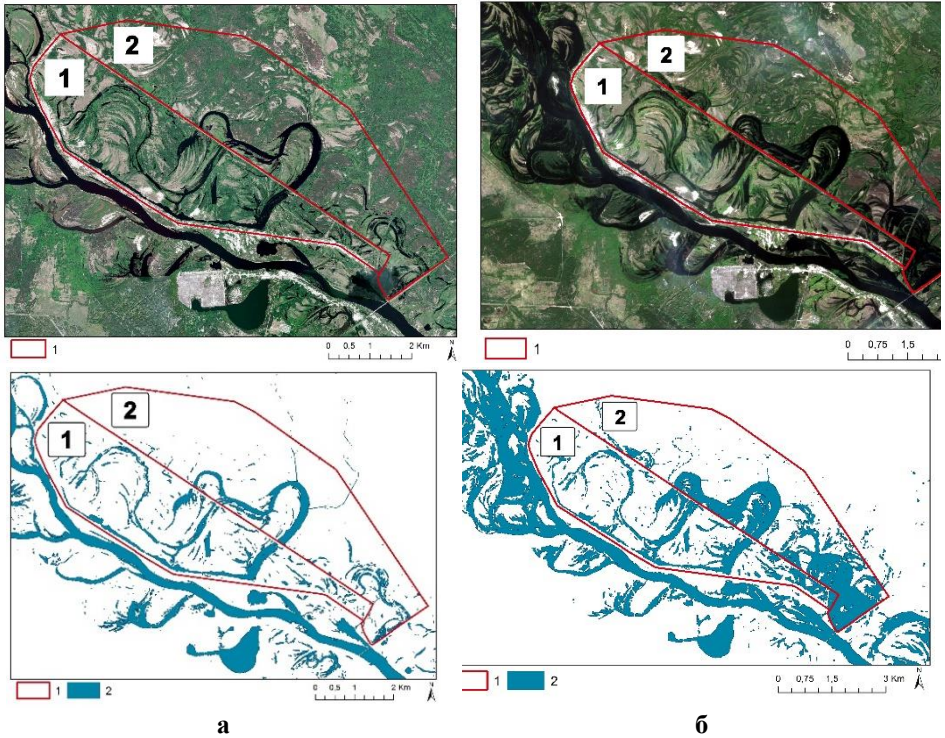


Рис. 2. Територія лівобережної Прип'ятської осушувальної системи. Космічні знімки (верхній ряд), що отримані з апаратів WorldView-2 від 06.04.2022 р. (а) і Sentinel-2 від 02.05.2023 р. (б) та побудовані на підставі їх застосування картосхеми водного дзеркала (нижній ряд) у межах міждамбової ділянки (1) та ділянки на північний схід від старої дамби (2). 1 – межі ділянок дослідження, 2 – площі, що зайняті відкритою водною поверхнею

Весняний водний баланс території формується за рахунок атмосферних опадів кінця попереднього року (протягом листопада-грудня) та початку поточного (січень-лютий-березень-квітень). У цей період температура атмосферного повітря низька, а його вологість підвищена, часто є наявність якогось снігового покриву, випаровування із земної поверхні незначне. Цим пояснюється зменшення зволоженості та площі водної поверхні на території досліджень навесні 2022 р., оскільки напередодні, у вересні-жовтні 2021 р., у межах лівобережної частини водозбірного басейну р. Прип'ять загальною площею 57 871 км<sup>2</sup> зафіксовано відносно малу кількість атмосферних опадів – близько 90 мм. Про це виразно свідчать опрацьовані нами статистичні дані, надані платформою ERA5 [12] (рис. 4).

Зважаючи на зазначені гідрометеорологічні фактори і факти, обґрунтованим, як ми вважаємо [4, 5, 10], є висновок про трансформацію гідрологічних умов як у межах території природно-техногенного комплексу



Прип'ятської осушувальної системи зокрема, так і лівобережної частини водозбірного басейну р. Прип'ять загалом. Імовірно, трансформація цих умов пов'язана з процесами глобальних змін клімату. У межах території досліджень ці зміни переважно проявляються потеплінням, з відносно підвищеними значеннями температур атмосферного повітря у холодний період року, а також перерозподілом кількості опадів поміж місяцями протягом року загалом, що призводить до їх зменшення навесні.

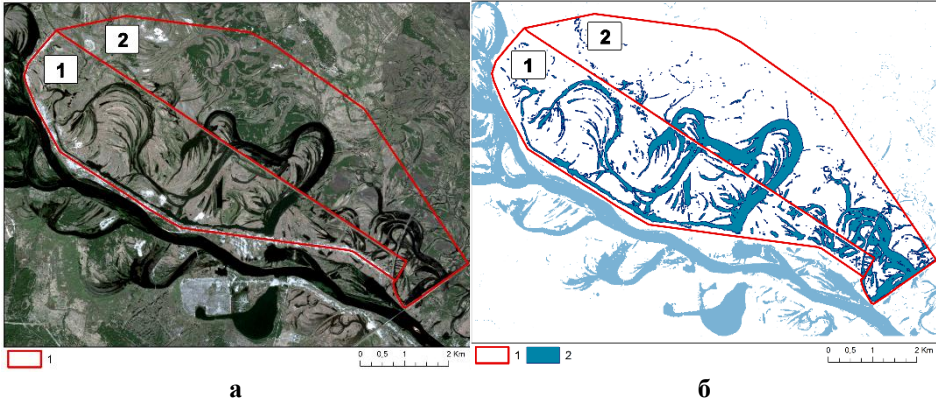


Рис. 3. Територія лівобережної Прип'ятської осушувальної системи. Космічний знімок, отриманий з супутника Sentinel-2 09.04.2024 р. (а), та створена на основі його застосування картосхема водної поверхні (б) у межах водозбору між старою і новою дамбами (1) та на ділянці північно-східніше старої дамби (2). 1, 2 – див. рис. 2

Таблиця 1. Площі відкритої водної поверхні та суходолу в межах окремих ділянок водозборів лівобережжя р. Прип'ять, що визначені за матеріалами супутникових знімків 2018, 2022, 2023 і 2024 рр.\*

Дата зйомки	Міждамбова ділянка (1)		Ділянка на північний схід від старої дамби (2)
	Площа водної поверхні, км <sup>2</sup>	Площа суходолу, км <sup>2</sup>	Площа водної поверхні, км <sup>2</sup>
26.05.2018 р.	5,414	10,01	3,64
06.04.2022 р.	1,93	13,494	1,37
02.05.2023 р.	3,379	12,045	1,536
09.04.2024 р.	3,279	11,97	3,385

\* Результати 2018 та 2022 рр. – за даними знімків з супутника WorldView-2, 2023 і 2024 рр. – з космічного апарата Sentinel-2.

Стосовно більшості території України фахівці-гідрометеорологи теж відзначають зростання суми опадів саме узимку [15]. Натомість у квітні й в літній сезон їх кількість зменшується. На думку авторів вказаної публікації, зміна кліматичних показників, таких як температура та опади, відбувається внаслідок зміни тенденції великомасштабної атмосферної циркуляції. Як ми зрозуміли з їхніх результатів, під “великомасштабними” процесами вони розуміють ті, що відбуваються на значних за охопленням площі територіях.



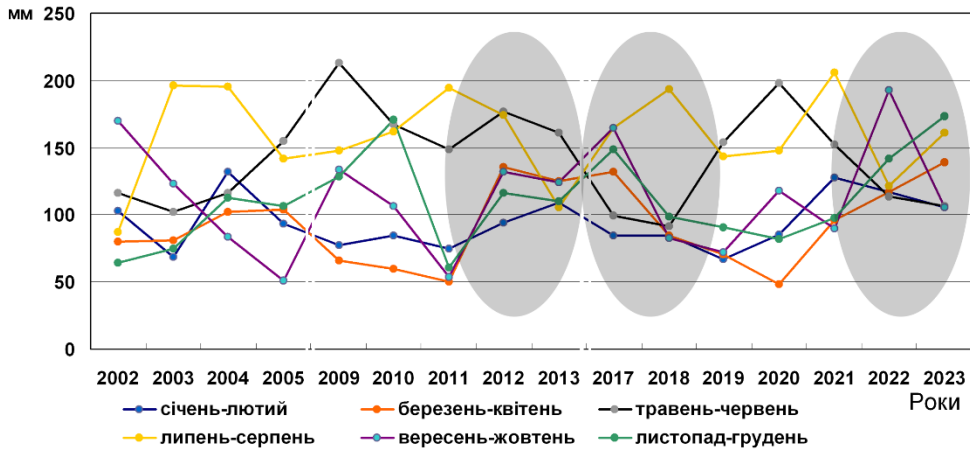


Рис. 4. Динаміка кількості атмосферних опадів у межах усієї території лівобережної частини водозбору басейну р. Прип'ять за 2002-2005, 2009-2013, 2017-2023 рр. по місяцях, мм (складено з використанням даних платформи ERA5 [12]). Сірими овалами вказані етапи зростання ступеня обводнення території досліджень

На відміну від більшості попередніх років, дані космічного знімання супутником *Sentinel-2* від 02.05.2023 р. і 09.04.2024 р. засвідчують зростання обводнення території як міждамбової ділянки, так і району, що розташований північно-східніше старої дамби (див. табл. 1, рис. 2, 3). Зокрема, станом на **02.05.2023 р.** площа дзеркала води на міждамбовій ділянці становила 3,379 км<sup>2</sup>. У порівнянні з результатами досліджень за матеріалами WorldView-2 від 06.04.2022 р. площа відкритої водної поверхні збільшилася тут на 75%, натомість площа суходолу зменшилася приблизно на 11%. Певне, хоча й менш значне збільшення площі водної поверхні також відмічається в межах ділянки на північний схід від старої дамби: 1,536 км<sup>2</sup> станом на 02.05.2023 р. порівняно з 1,37 км<sup>2</sup> станом на 06.04.2022 р. Це є 12%-м зростанням від дати 06.04.2022 р.

На ділянці між старою і новою дамбами за матеріалами знімання з космічного апарата Sentinel-2 від **09.04.2024 р.** закартована приблизно така ж площа відкритої водної поверхні, що й станом на 02.05.2023 р.: 3,279 км<sup>2</sup>. Проте на ділянці північно-східніше старої дамби на початку квітня 2024 р. виявлено істотне, порівняно із станом на 06.04.2022 р., збільшення площі, що зайнята водою. На дату зйомки 09.04.2024 р. ця площа сягає значення 3,385 км<sup>2</sup> (див. табл. 1). Тобто показники початку квітня 2022 р. збільшилися в 1,47 раза.

Вважаємо, що результати дистанційних досліджень водних об'єктів за даними супутників WorldView-2 і Sentinel-2 є порівнянними. Адже просторова розрізненість знімків першого з них нами свідомо була генералізована до 6 м/пкл, а розрізненість зональних зображень другого становить 10 м/пкл.

Виявлені за допомогою космічних знімків факти зростання обводнення території сигналізують про імовірне формування багатоводної фази водності (11 років) у межах повного гідрологічного циклу (22 роки), що зазвичай історично був характерний для басейну р. Прип'ять. Такі цикли закінчуються маловодними фазами [16], одну з яких ми спостерігали протягом 2003-2022 рр. Причому тенденція у проходженні маловодної фази намічалася у 2021-2022 рр.

Ознака формування багатоводної фази, вірогідно, підкреслюється наданими платформою ERA5 [12] статистичними даними щодо відносного збільшення у період вересень-жовтень-листопад-грудень 2022 р. **сумарної кількості атмосферних опадів** у межах усєї території лівобережної частини водозбірного басейну р. Прип'ять (див. рис. 4). За сумою вони значно переважали відповідні показники 2021 р. та інших попередніх років. Так, у **2022 р.** кількість опадів у вересні-жовтні сягнула тут позначки майже 193 мм шару води, що випала, а в листопаді-грудні – 142 мм. Іншою чіткою ознакою настання багатоводної фази водності були рясні дощі, що пройшли в досліджуваному регіоні у квітні 2023 та 2024 рр., та затоплення, підтоплення значних площ, а також паводок на його території, зареєстрований у квітні-травні 2023 р.

Дані із сумарної кількості атмосферних опадів у межах лівобережної частини водозбору басейну р. Прип'ять за **2023 р.** продовжують визначати тренд їх зростання у холодний період року протягом листопада-грудня. Зокрема, за листопад-грудень цього року встановлено показник майже у 174 мм (див. рис. 4).

З даними стосовно масштабів затоплення й обводнення досліджених ділянок водозборів лівобережжя р. Прип'ять в межах меліоративної системи чітко, у прямій залежності корелюють дані щодо винесення з цієї території радіонукліда  $^{90}\text{Sr}$ . Відомо [3], що припинення постійної експлуатації ПНС на старій лівобережній дамбі у 2015 р. позбавило причин додаткового збільшення концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у поверхневих водах верхнього б'єфу дамби. Адже за результатами моніторингових спостережень працівників Державного спеціалізованого підприємства (ДСП) «Екоцентр» [17] винесення цього радіонукліда зі стоком з лівобережного польдера у 2015 р. становило 0,006 ТБк, у 2016 р. – 0,02 ТБк (табл. 2, рис. 5). Це істотно менше у порівнянні з винесеною активністю  $^{90}\text{Sr}$  в одному з попередніх років: 0,65 ТБк у 2013 р.

Таблиця 2. Винесення  $^{90}\text{Sr}$  зі стоком з лівобережного польдера у межах ЧЗВ у 2009-2023 рр., ТБк (складено з використанням даних ДСП «Екоцентр» [17])

Роки							
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Винесення							
0,24	0,27	0,34	0,21	0,65	0,08	0,006	0,02
Роки							
2017	2018	2019	2020	2021	2022*	2023*	
Винесення							
0,04	0,07	0,008	0,001	0,005	0,02	0,034	

\* Дані отримані розрахунковим методом з урахуванням результатів багаторічних спостережень.

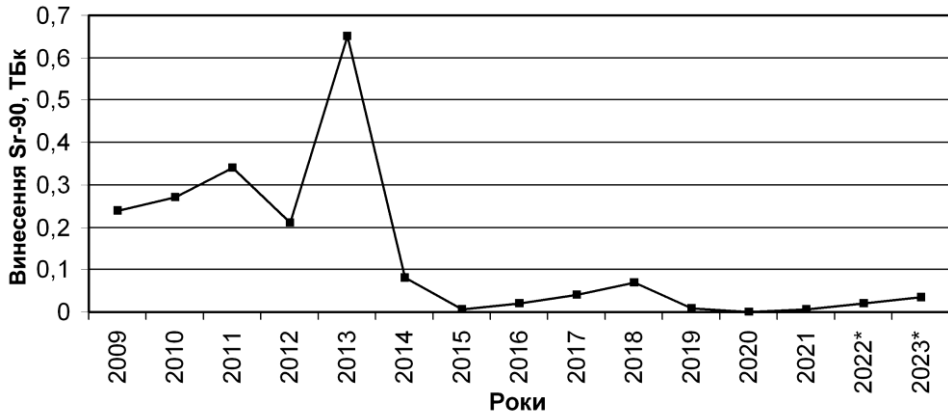


Рис. 5. Обсяги винесення  $^{90}\text{Sr}$  зі стоком із лівобережного польдера в межах ЧЗВ у 2009-2023 рр., ТБк. Побудовано за матеріалами моніторингових спостережень ДСП “Екоцентр” [17] (дані за 2022 і 2023 рр. отримані розрахунковим методом з урахуванням результатів багаторічних спостережень)

Натомість розрахункові обсяги активності  $^{90}\text{Sr}$ , які могли бути винесеними зі стоком з району лівобережного польдера у 2022 і 2023 рр., оцінені відповідно в 0,02 та 0,034 ТБк [17]), цілком узгоджуються із встановленою тенденцією їх зростання. Так, порівняно з 2021 р. у 2023 р. це винесення зросло у 6,4 раза, а порівняно з 2020 р. – у 34 рази (!).

Таким чином, простежується пряма залежність між винесеними з території лівобережного польдера до р. Прип'ять обсягами активності  $^{90}\text{Sr}$  та значеннями закартованих засобами дистанційних технологій площ відкритої водної поверхні в її межах. Зростання останніх, що є логічним, добре корелює з відносно підвищеними значеннями сумарної кількості атмосферних опадів у холодний період року протягом вересня-жовтня-листопада-грудня у межах усієї території лівобережної частини водозбірної басейну р. Прип'ять.

### Впровадження науково-технічних результатів роботи

За результатами роботи напрацьовано «**Науково-методичну рекомендацію** із застосування геоінформаційного аналізу комплексу дистанційних і наземних даних з метою оцінювання пов'язаних із кліматичними змінами трансформацій гідрологічних умов, що впливають на радіоекологічний стан у водно-болотних екосистемах на територіях, у межах яких постійні моніторингові спостереження за водним стоком не здійснюються». Матеріали рекомендації є актуальними для території ЧЗВ, де наразі в умовах певною мірою хаотичної замінованості внаслідок російської окупації відповідні моніторингові спостереження на більшості об'єктів на регулярній основі об'єктивно не проводяться. Зважаючи на ситуацію, що склалася, матеріали рекомендації передано для використання в діяльності групи моніторингу приземного шару повітря та ландшафтів інформаційного науково-аналітичного відділу ДСП “Екоцентр” (Акт впровадження – приймання-передачі матеріалів науково-дослідних розробок від 15.06.2023 р.). Вони використовувалися з метою оцінки обсягів виносу радіонуклідів з басейнів

водного стоку в межах ЧЗВ до р. Прип'ять, а також з метою оцінки пожежної небезпеки та вжиття протипожежних заходів на відповідних територіях протягом 2023 р.

Зроблений у рекомендації прогноз, що поточна гідрологічна ситуація призведе у 2023 р., порівняно з попередніми роками, до зростання обсягів винесення активності  $^{90}\text{Sr}$  зі стоком з району лівобережного польдера, у подальшому підтвердився на підставі розрахунків фахівців ДСП "Екоцентр" [17] (див. табл. 2, рис. 5).

## **Висновки та перспективи подальших робіт**

Порівняно з періодом безперервної роботи ПНС у межах лівобережного водоохоронного комплексу ЧЗВ, що закінчився у 2015 р., за даними космічних знімків 2018 і 2022 рр. на цій території встановлено незначне обводнення та заболочення ділянки між старою та новою дамбами, а також ділянки північно-східніше старої дамби [2, 4, 5, 9, 10]. Це може свідчити про трансформацію гідрологічних умов у межах території природно-техногенного комплексу Прип'ятської осушувальної системи, що пов'язані з процесами глобальних змін клімату (переважно глобального потепління з тенденцією до перерозподілу кількості атмосферних опадів поміж місяцями протягом року, що призводить до їх зменшення у весняний період).

Разом з цим аналітичні дані супутникових знімків 2023 і 2024 рр. дають можливість прогнозувати цілком вірогідне настання багатоводної фази водності в рамках повного гідрологічного циклу [4, 5, 10, 11]. Про це свідчать отримані на їх підставі результати, за якими в межах ЧЗВ встановлено зростання обводнення території лівобережної Прип'ятської системи, а також статистичні дані щодо сумарної кількості атмосферних опадів у холодний період року на території лівобережної частини водозбірної басейну р. Прип'ять.

Оскільки прогноз, що така гідрологічна ситуація у перспективі призведе до зростання обсягів винесення  $^{90}\text{Sr}$  зі стоком з району лівобережного польдера у 2023 р., підтвердився на підставі розрахунків фахівців ДСП "Екоцентр" [17], нами передбачається [4, 5, 10, 11] подальше погіршення радіоекологічної обстановки на території досліджень. Принаймні збереження такої тенденції цілком імовірно у 2024-2026 рр.

Отже, технології космічного геомоніторингу є складовими інформаційно-технологічної системи для оцінювання радіаційно-екологічної обстановки в межах важкодоступних, заболочених, значною мірою забруднених радіоактивними випадіннями та замінованих внаслідок окупації воєнізованими угрупованнями територій, у межах яких безпосереднє перебування персоналу повинно бути вкрай обмеженим.

***Перспективи подальших досліджень*** різноманітних гідрологічних процесів та радіоекологічної обстановки на лівобережжі р. Прип'ять з метою значного зменшення або уникнення опромінення персоналу при проведенні відповідних польових робіт, а також унеможливлення його поранень, каліцтва чи навіть загибелі на залишених регулярними військами російської федерації боєприпасах (зокрема, мінах) під час окупації ЧЗВ у 2022 р. полягають, на нашу думку [5], у такому. А саме: у майбутніх роботах рекомендується використання даних космічного знімання високої просторової, спектральної й

радіометричної розрізненості. Зйомка повинна виконуватися з порівняно невеликим часовим інтервалом: у період повеней – щотижня, в інший час – принаймні раз на 1-3 місяці. Застосування технологій безпілотних літальних апаратів у ході досліджень (гіперспектральне знімання по достатній кількості профілів і точок спостережень, або ж площове знімання з просторовою розрізненістю сучасних сенсорів близько 2 см/пкл) й активне використання отриманих матеріалів спільно з наземними і супутниковими даними надасть якісно новий поштовх у вивченні радіогідрологічного й радіоекологічного стану території ЧЗВ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розрахунок водно-радіаційного балансу осушувальних систем лівобережної заплави р. Прип'ять в 30-км зоні ЧАЕС: звіт про НДР; наук. керівник В.М. Шестопапов. (1998). Київ: НІЦ РПД НАН України. Т. 1. 213 с.
2. Азімов О.Т., Шевченко О.Л., Томченко О.В. (2022). Геоінформаційний аналіз даних космічних знімачь з метою оцінювання змін радіогідрологічних умов територій. Укр. журн. дистанційного зондування Землі. Т. 9, № 2. С. 13–36. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.2.21>
3. Радіогідрогеохімія водозбірних басейнів Чорнобильської зони відчуження: наук. монограф.; за ред. О.Л. Шевченка, В.В. Доліна. (2023). Київ: Наук. думка. 348 с. ISBN 978-966-00-1855-6. <http://doi.org/10.15407/978-966-00-1855-6>
4. Азімов О.Т., Андреев А.А., Кіреєв С.І., Томченко О.В., Триснюк В.М. (2024). Космічний моніторинг природних і техногенних подій на Прип'ятській лівобережній меліоративній системі Зони відчуження. Актуальні проблеми та інноваційні технології у сфері цивільного захисту та екологічної безпеки для повоєнного відновлення України: зб. наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 28-30 трав. 2024 р.). Київ: НУХТ. С. 52–60. ISBN 978-966-612-335-3. <https://drive.google.com/drive/folders/16iY1fsW43jiO5zdgXhZ2U1se9dMYCVw2>
5. Азімов О.Т., Томченко О.В., Шевченко О.Л., Кіреєв С.І. (2024). Моніторинг гідроресурсів радіаційно забруднених осушувальних систем за комплексом даних космічних знімачь і наземних спостережень (у контексті регіональних змін клімату). Космічна наука і технологія. Т. 30, № 2. С. 69–92. <https://doi.org/10.15407/knit2024.02.069>
6. Положення про Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. (Затверджено Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 03.02.2017 р. № 43). <https://zapovidnyk.org.ua/index.php?fn=3t&n=160250636283>
7. Рекомендації Всеукраїнської науково-практичної конференції «Рациональне використання водних ресурсів як фактор забезпечення національної безпеки України». (2012). Матеріали VII Пленуму Спілки економістів України та Всеукр. наук.-практ. конф. (вересень 2012 р.). Київ: Спілка економістів України. С. 260–275. Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://seu.org.ua/wp-content/uploads/2013/12/voda.pdf>
8. Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: метод. посіб. по темат. інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок; відп. ред. В.І. Лялько. (1999). Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України. 264 с. ISBN 966-02-1398-0
9. Azimov O., Tomchenko O., Shevchenko O., Dorofey Ye. (2022). Satellite monitoring of the natural and technogenic events on the left-bank Pripjat reclamation system of the Chornobyl Exclusion Zone. Proc. 16th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (15-18 November 2022, Kyiv, Ukraine). 6 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580102>

10. Azimov O.T., Tomchenko O.V., Andreiev A.A., Dorofey Ye.M., Shevchenko O.L., Kireev S.I. (2023). Monitoring of the current underflooding processes of drainage systems in the Exclusion Zone by means of remote sensing and GIS-technologies. Proc. 17th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine). 5 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520129>
11. Азімов О.Т., Томченко О.В., Шевченко О.Л., Триснюк В.М., Андреев А.А., Кіреєв С.І. (2023). Аналіз процесів підтоплень в межах Зони відчуження на підставі застосування ДЗЗ/ГІС-технологій / Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення: колективна монограф. за матеріалами 22-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 14-15 листоп. 2023 р.); за заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон». С. 202–205. DOI: 10.37321. [https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1\\_zbirka\\_08\\_11\\_23-1-1.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1_zbirka_08_11_23-1-1.pdf)
12. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
13. McFeeters S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* Vol. 17, iss. 7. P. 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
14. Довгий С.О., Лялько В.І., Трофимчук О.М., Федоровський О.Д., Азімов О.Т., Верюжський Г.Ю., Вульфсон Л.Д., Греков Л.Д., Кононов В.І., Копійка О.В., Костюченко Ю.В., Крот В.М., Ловцов І.В., Перерва В.М., Прусов В.А., Рябоконеко О.Д., Савицький О.А., Сахацький О.І., Терьоменко О.М., Ходоровський А.Я., Яценко О.В. (2001). Інформатизація аерокосмічного землезнавства; за ред. С.О. Довгого і В.І. Лялька. Київ: Наук. думка. 607 с. ISBN 966-00-0743-4
15. Мартазінова В.Ф., Городецька Н.С., Рибченко Л.С., Савчук С.В., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г. (2022). Особливості температурно-вологісного режиму території України з початку ХХІ сторіччя під впливом змін великомасштабної атмосферної циркуляції. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля.* № 2 (2). С. 22–34. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2022.02>
16. Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. (2018). Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України): монографія; за ред. О.Г. Ободовського. Київ: Прінт-сервіс. 193 с. ISBN 978-617-7069-71-4
17. Інформаційний звіт про результати радіаційно-екологічного моніторингу зони відчуження за 2023 рік. (2024). Чорнобиль: ДСП “Екоцентр”. 30 с.

*Стаття надійшла до редакції 03.09.2024 і прийнята до друку після рецензування 09.12.2024*

## REFERENCES

1. Calculation of the water-radiation balance of reclamative systems of the Left-bank flood plain of the Prypiat River in 30-km Zone of the ChNPP: Report on research (vol. 1). (1998). Kyiv: Radioecological Center, NAS of Ukraine [in Ukrainian].
2. Azimov, O.T., Shevchenko, O.L., & Tomchenko, O.V. (2022). Geoinformation analysis of the satellite imagery data in order to assess the changes in radiohydrological conditions over the study territories. *Ukrainian J. Remote Sens.*, 9 (2), 13-36. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.2.213> [in Ukrainian with English abstract].
3. Radiohydrogeochemistry of catchment areas of the Chernobyl Exclusion Zone: Sci. monograph. (2023). O.L., Shevchenko, & V.V., Dolin (Eds.). Kyiv: Naukova Dumka. ISBN 978-966-00-1855-6. <http://doi.org/10.15407/978-966-00-1855-6> [in Ukrainian with English abstract].



4. Azimov, O.T., Andreiev, A.A., Kireev, S.I., Tomchenko, O.V., & Trysniuk, V.M. (2024). Satellite monitoring of the natural and technogenic events within the Prypiat Left-Bank Reclamation System of the Exclusion Zone. In: *Current problems and innovative technologies in the field of civil protection and environmental security for the post-war recovery of Ukraine: Sci. Proc. Int. Sci. and Practical Conf. (28-30 May 2024, Kyiv)*. Kyiv: Nat. Univ. Food Tech. Press (pp. 52-60). ISBN 978-966-612-335-3. Retrieved from <https://drive.google.com/drive/folders/16iY1fsW43jiO5zdgXhZ2U1se9dMYCVw2> [in Ukrainian with English summary].
5. Azimov, O.T., Tomchenko, O.V., Shevchenko, O.L., & Kireev, S.I. (2024). Water resource monitoring for the drainage systems contaminated by radiation based on the complex of satellite imaging and ground observations (in the context of regional climate changes). *Space Sci. Tech. (Ukraine)*, 30 (2), 69-92. <https://doi.org/10.15407/knit2024.02.069> [in Ukrainian with English abstract].
6. Regulations on Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. (Approved by Order of Ministry of Environmental Protection and Natural Resources on February 3, 2017, No. 43). Retrieved from <https://zapovidnyk.org.ua/index.php?fn=3t&n=160250636283> [in Ukrainian].
7. Recommendations of All-Ukrainian Scientific and Practical Conference “Rational Utilization of Water Resources as a Factor of National Security Protection”. (2012). In *Proc. 7-th Plenum of Society of Economists of Ukraine and All-Ukrainian Sci. and Practical Conf. (September, 2012)* (pp. 260-275). Kyiv: Society of Economists of Ukraine. Retrieved from <chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://seu.org.ua/wp-content/uploads/2013/12/voda.pdf> [in Ukrainian].
8. New methods in the aerospace Earth exploration: Sci. and learning guide. (1999). V.I., Lyalko (Ed.). Kyiv: CASRE IGS NAS of Ukraine. ISBN 966-02-1398-0 [in Ukrainian].
9. Azimov, O., Tomchenko, O., Shevchenko, O., & Dorofey, Ye. (2022). Satellite monitoring of the natural and technogenic events on the left-bank Pripjat reclamation system of the Chernobyl Exclusion Zone. In *Proc. 16th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (15-18 November 2022, Kyiv, Ukraine)* (pp. 1-6). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580102>
10. Azimov, O.T., Tomchenko, O.V., Andreiev, A.A., Dorofey, Ye.M., Shevchenko, O.L., & Kireev, S.I. (2023). Monitoring of the current underflooding processes of drainage systems in the Exclusion Zone by means of remote sensing and GIS-technologies. In *Proc. 17th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine)*, (pp. 1-5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520129>
11. Azimov, O.T., Tomchenko, O.V., Shevchenko, O.L., Trysniuk V.M., Andreiev, A.A., & Kireev, S.I. (2023). Analysis of underflooding processes within the Exclusion Zone on basis of RSE/GIS-technologies. In: S.O. Dovhyi (Ed.), *Information and Communication Technologies for Victory and Restoration: Multi-authored monograph based on the 22nd Int. Sci. and Practical Conf. on Information and Communication Technologies and Sustainable Development (14-15 November 2023, Kyiv, Ukraine)* (pp. 202-205). Kyiv: LLC Yuston Press. DOI: 10.37321. Retrieved from [https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1\\_zbirka\\_08\\_11\\_23-1-1.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1_zbirka_08_11_23-1-1.pdf) [in Ukrainian].
12. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
13. McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.*, 17 (7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
14. Dovhyi, S.O., Lyalko, V.I., Trofymchuk, O.M., Fedorovsky, O.D., Azimov, O.T., Veriuzhskiy, G.Yu., Vulfson, L.D., Grekov, L.D., Kononov, V.I., Kopyika, O.V., Kostyuchenko, Yu.V., Krot, V.M., Lovtsov, I.V., Pererva, V.M., Prusov, V.A., Riabokonenko, O.D., Savytskyi, O.A., Sakhatsky, O.I., Teremenko, O.M., Khodorovsky, A.Ya., & Yatsenko, O.V. (2001). Informatisation of aerospace Earth science. (S.O. Dovhyi & V.I. Lyalko, Eds.). Kyiv: Naukova Dumka. ISBN 966-00-0743-4 [in Ukrainian].

15. Martazinova, V.F., Horodetska, N.S., Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V., Hrebenuk, N.P., & Tatarchuk, O.H. (2022). Features of the current state of the temperature-humidity regime of Ukraine since the beginning of the XXI century under the influence of changes of large-scale atmospheric circulation. *Meteorol., Hydrol., Environ. Monit. (Ukraine)*, 2 (2), 22-34. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2022.02> [in Ukrainian with English abstract].
16. Obodovskyi, Y.O., Khilchevskiy, V.K., & Obodovskyi, O.G. (2018). Hydromorphoecological assessment of the river bed processes of rivers in the upper Tisza river basin (within Ukraine): Monograph. (O.G. Obodovskyi, Ed.). Kyiv: Print-Service. ISBN 978-617-7069-71-4 [in Ukrainian with English abstract].
17. Information Report on the results of radiation and environmental monitoring of the Exclusion Zone for 2023. (2024). Chernobyl: SSE Ecocentre [in Ukrainian].

*The article was received 03.09.2024 and was accepted after revision 09.12.2024*

**Азімов Олександр Тельманович**

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

**Адреса робоча:** 01054 Україна, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-6

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5210-3920> **e-mail:** [azimov@casre.kiev.ua](mailto:azimov@casre.kiev.ua)

**Триснюк Василь Миколайович**

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9920-4879> **e-mail:** [trysnyuk@ukr.net](mailto:trysnyuk@ukr.net)

**Шевченко Олексій Леонідович**

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Українського гідрометеорологічного інституту Державної служби України з надзвичайних ситуацій та НАН України, Київ, Україна

**Адреса робоча:** 03028 Україна, м. Київ, пр-т Науки, 37

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354> **e-mail:** [shevch62@gmail.com](mailto:shevch62@gmail.com)

**Томченко Ольга Володимирівна**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

**Адреса робоча:** 01054 Україна, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-6

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099> **e-mail:** [tomch@i.ua](mailto:tomch@i.ua)

**Андрєєв Артем Андрійович**

доктор філософії, молодший науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

**Адреса робоча:** 01054 Україна, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-6

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6485-449X> **e-mail:** [artem.a.andreev@gmail.com](mailto:artem.a.andreev@gmail.com)

**Кірсєв Сергій Іванович**

генеральний директор Державного спеціалізованого підприємства “Екоцентр”

**Адреса робоча:** 07270 Україна, Київська обл., м. Чорнобиль, вул. Шкільна, 6

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-3655> **e-mail:** [kireev@ecocentre.kiev.ua](mailto:kireev@ecocentre.kiev.ua)