

Інформаційна технологія оцінювання антропогенного навантаження на водні об'єкти

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Метою статті є підвищення об'єктивності оцінок щодо стану водних об'єктів шляхом розроблення моделі інформаційної технології (ІТ) оцінювання антропогенного навантаження на основі використання просторово-розподілених даних. **Завдання:** проаналізувати нормативно-правову базу оцінювання антропогенного впливу на водні ресурси, дослідити методику оцінювання антропогенного навантаження та ризиків недосягнення екологічних цілей, удосконалити процес оцінювання шляхом створення ІТ для поєднання актуальних просторово-розподілених даних та архівної інформації для доповнення натурних спостережень. Використано **методи** геоінформаційного аналізу супутникових зображень, системного аналізу та функціонального моделювання. **У результаті** систематизовано вимоги чинного законодавства щодо моніторингу водних об'єктів, запропоновано теоретико-множинну модель процесу оцінювання антропогенного навантаження, яка інтегрує картографічні та дистанційні дані та просторову аналітику. Побудована IDEF0-модель демонструє послідовність обробки картографічних та архівних даних і супутникових знімків для доповнення натурних спостережень для формування ефективних рішень з досягнення екологічних цілей. **Висновки.** Об'єктивність оцінювання антропогенного впливу в річкових басейнах обмежується фрагментарністю даних, слабкою інтеграцією просторового аналізу та низькою адаптивністю традиційних методик до змін клімату та інтенсивної людської діяльності. У роботі запропоновано модель, що розкриває структуру ІТ, яка поєднує картографічні, дистанційні, архівні дані, ГІС і цифрову обробку зображень для ідентифікації джерел впливу, здійснення моніторингу змін у річкових басейнах, підвищення точності оцінок стану водних об'єктів для формування ґрунтовних рішень по досягненню екологічних цілей. Приклад застосування розробленої ІТ у Харківський обл. показав, що наразі лише 38 % від наявних станцій спостереження надають інформацію щодо стану водних об'єктів відповідно до плану управління річковим басейном Дону. Це зменшує об'єктивність наданих оцінок і збільшує ризики недосягнення екологічних цілей. Тому, використання дистанційних даних стає ефективним джерелом актуальної інформації для формування ефективних екологічних рішень.

Ключові слова: модель DPSIR, інформаційний процес, теоретико-множинна модель, функціональне моделювання, картування, гідрограф.

Вступ

Збереження якості довкілля та здоров'я населення є однією з найгостріших проблем сучасності. Однак численні дослідження підтверджують: в останні десятиліття значне зростання урбанізації, індустріалізації та сільськогосподарської діяльності призводить до погіршення екологічної ситуації. Найбільш інтенсивному антропогенному впливу піддаються прісні поверхневі води (річки, озера, болота, ґрунтові води) [1, 2].

Міжурядова група експертів зі зміни клімату підкреслює, що захист прісних вод має першочергове значення, особливо в умовах зміни клімату. Нещодавні дослідження виявили складну взаємодію між зміною клімату, гідрогеологією та діяльністю людини та наголошують: їх сукупний вплив на деградацію ресурсів прісних вод не лише перешкоджає економічному розвитку, а й створює серйозні проблеми для здоров'я населення [2]. Між водними ресурсами, енергетикою,

продовольчою безпекою та харчуванням існує нерозривний зв'язок. Саме тому Організація Об'єднаних Націй, формуючи Концепцію Сталого розвитку (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>), робить акцент на більш безпечних і більш економічно ефективних заходах щодо запобігання забрудненню вод шляхом поєднання розумної політики з новими технологіями, визначаючи важливість цифрових технологій в оцінюванні антропогенного впливу. Зокрема, ООН підтримує ініціативи з відкритого доступу до супутникових даних і розробки алгоритмів для автоматизованого моніторингу стану водних об'єктів [1].

Ефективна оцінка антропогенного впливу на річки стає ключовим завданням для екологів, інженерів-гідрологів, управлінців водними ресурсами та розробників екологічної політики. Традиційні методи оцінювання часто є затратними, локальними за охопленням і недостатньо оперативними. У цьому контексті дедалі більшої актуальності набуває використання дистанційних і картографічних даних у поєднанні з геоінформаційними технологіями (ГІС). Дані дистанційного зондування (ДЗЗ) забезпечують можливість регулярного та масштабного спостереження за річковими басейнами, включаючи моніторинг змін у землекористуванні, гідроморфологічному стані русел, ерозійних процесах, появі нових антропогенних об'єктів тощо. ГІС-технології дозволяють інтегрувати різноманітні просторові, аналітичні та архівні картографічні та топографічні дані, здійснювати багаторівневий аналіз впливу джерел забруднення, моделювати зміни та візуалізувати результати для прийняття ґрунтовних рішень [2, 3].

Нормативно-правова база оцінювання антропогенного навантаження на водні об'єкти

Починаючи з другої половини ХХ століття, на більшій частині території України фіксувався значний антропогенний тиск на річкові системи. Поширенню цього процесу сприяли розбудова наявних населених пунктів і будівництво нових міст, які найчастіше розташовували в басейнах річок для забезпечення постачання води та інших ресурсів [3]. Результатом цього процесу стала трансформація русла водних об'єктів, зміна його форми, створення в басейні річок інженерної інфраструктури, будівництво численних споруд, що взаємодіють з річками (мостів, дамб, гребель та ін.) тощо. Це вплинуло на річковий баланс, призвело до погіршення гідрологічної, седиментологічної, екологічної ситуації, змінило ландшафт оточуючого середовища [3].

Антропогенне навантаження на басейни річок України значно перевищує показники розвинутих країн світу. Це стає багатоаспектною проблемою, теоретичним, методологічним і методичним питанням якої присвячені наукові праці вчених-географів, гідрохіміків, гідромеліораторів і екологів Вишневського П. Ф., Кирилюка О. В., Левківського С. С., Ліхо О. А., Мисковця І. Я., Морокова В. В., Рибалова О. В., Соловей Т. В., Тимченка З. В., Хільчевського В. К., Цвєтової О. В., Ясенчука Т. О., Яцика А. В. та ін. [3, 4]. Ці дослідження стали основою Стратегії сталого розвитку України, яка визначає стратегічні напрями її довгострокового розвитку відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, адже водна безпека є ключовим питанням у забезпеченні сталого розвитку [4]. Більш того, у зв'язку з почастишанням екстремальних погодних явищ, викликаних зміною клімату, збільшенням антропогенного навантаження, бойовими діями проблеми водної безпеки в Україні стають усе більш помітними. Збільшення впливу антропогенних факторів загострює проблему вивчення якості поверхневих вод і дослідження впливу антропогенної складової на річки [3, 5].

Згідно розробленої Стратегії ці питання регламентуються низкою нормативно-правових актів, які визначають вимоги до моніторингу стану русла річок, аналізу річкових басейнів, звітності та управління станом водних ресурсів (табл. 1).

Таблиця 1

Нормативно-правові документи, що регулюють порядок оцінювання стану водних об'єктів (складено авторами за даними порталу <https://zakon.rada.gov.ua>)

Ідентифікатор документу	Назва документу	Основні положення в частині оцінювання стану водних об'єктів
від 06.06.1995 № 213/95 – ВР (зі змінами)	Водний Кодекс України	- регламентує правові основи використання та охорони водних об'єктів; - встановлює вимоги щодо: ведення державного моніторингу вод, обліку водокористування, охорони вод від забруднення, засмічення та виснаження, зон санітарної охорони.
від 25.06.1991 № 1264 – XII (зі змінами)	Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»	- визначає загальні принципи екологічної безпеки; - регламентує екологічні права та обов'язки громадян; - регулює питання проведення екологічного моніторингу та оцінювання впливу на довкілля (зокрема, на водні об'єкти).
від 23.05.2017 № 2059-VIII (зі змінами)	Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»	- встановлює правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля, спрямованої на запобігання шкоді довкіллю, забезпечення екологічної безпеки тощо; - регламентує процедуру оцінки впливу планованої діяльності на довкілля; - визначає порядок проведення оцінки впливу на довкілля (зокрема, на водні об'єкти).
від 30.03.1998 № 391 (постанова Кабінету Міністрів України)	Положення про державну систему моніторингу довкілля	- регламентує порядок створення та функціонування системи державного моніторингу навколишнього природного середовища; - визначає основні принципи, мету та завдання системи; - описує структуру та рівні системи.
від 19.09.2018 № 758 (постанова Кабінету Міністрів України)	Порядок здійснення державного моніторингу вод	- визначає основні вимоги до організації здійснення державного моніторингу вод; - визначає основні принципи та завдання системи; - описує структуру та рівні системи; - регламентує перелік результатів моніторингу.
від 19.09.2018 № 758 (постанова Кабінету Міністрів України)	Порядок розроблення плану управління річковими басейнами	- регламентує плани з досягнення екологічних цілей, визначених для кожного району річкового басейну; - визначає структуру та зміст плану; - описує порядок отримання первинної інформації.
від 01.11.2024 № 1077 (розпорядження Кабінету Міністрів України)	План управління річковими басейнами Дніпра та Дону на 2025-2030 рр.	- затверджує план управління річковим басейном на 2025-2030 роки.

Аналіз змісту нормативно-правової документів (табл. 1) показує, що їх основною метою є забезпечення екологічної безпеки населення України шляхом ефективного, науково-обґрунтованого використання вод та їх охорони. Ці рішення закріплено в Плані управління річковими басейнами, вони приймаються внаслідок збирання, обробки, збереження й аналізу інформації та отримання комплексної оцінки стану водних об'єктів і факторів, що впливають на них [3 - 5]. Для цього відповідно до Програми державного моніторингу вод в Україні створено

мережу з пунктів спостереження, де з певною періодичністю здійснюють оцінку гідроморфологічних показників і відбір проб поверхневих вод для визначення біологічних, фізико-хімічних, хімічних показників і забруднюючих речовин, специфічних для певного басейну. На основі аналізу цих даних з огляду на результати виконання раніше планованих заходів і з урахуванням екологічних цілей формують перелік програм, спрямованих на подолання визначених проблем району річкового басейну [5]. Таким чином, здійснення моніторингу поверхневих вод стає одним із найважливіших елементів впровадження європейських стандартів з управління водними ресурсами для досягнення цілей Сталого розвитку країни, зокрема, забезпечення доброго екологічного стану водних об'єктів [1, 5].

Розуміючи важливість візуальної складової, законодавством України передбачено обов'язкове складання картографічних документів, наприклад, карт розподілу водних ресурсів, гідроморфологічних навантажень на водні об'єкти, оцінок екологічного стану водних об'єктів за біологічними, фізико-хімічними показниками тощо [4, 5]. Але, аналізуючи дані Державного агентства водних ресурсів України (зокрема, Сіверсько-Донецького басейнового управління водних ресурсів - <https://sdbuvr.gov.ua/>), зазначимо, що наявні картографічні матеріали сформовано станом на кінець 2023 р. (до дати прийняття Плану), актуальні дані щодо якісного аналізу стану водних об'єктів басейну Сіверського Дінця подано лише у вигляді слайдів і лише для тих пунктів, де це дозволяє оперативна військова ситуація. Це порушує вимоги пп. 3, 4 постанови Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 № 391 та не забезпечує дотримання принципів об'єктивності та достовірності, систематичності спостережень, комплексності в оцінках екологічної інформації, оперативності та вчасного інформування органів державної виконавчої влади та населення.

За цих обставин для підвищення ефективності й об'єктивності результатів моніторингу водних об'єктів фахівці все частіше рекомендують застосовувати результати дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) із залученням новітніх досягнень у галузі просторових інформаційних технологій як інструменту підтримки прийняття рішень. Стрімкий розвиток технологій цього напрямку та їх поширення серед безпосередніх виконавців програм моніторингу пов'язують не лише зі значної фінансовою вигодою, вони набувають великого значення серед множини наявних методів за умов [6 - 8]:

- потреби в сукупності характеристик водних об'єктів, розташованих на значних площах;
- необхідності підвищення точності оцінок динаміки зміни гідроморфологічних характеристик річок і водних басейнів;
- значного впливу сукупності антропогенних факторів на стан водних басейнів;
- відсутності доступу до певних пунктів спостереження внаслідок бойових дій;
- обмеженого фінансування систем моніторингу тощо.

Тому, для ефективного розв'язання завдань моніторингу водних об'єктів, забезпечення екологічної безпеки та прийняття рішення на основі повної, своєчасної та достовірної інформації відповідно до ст. 21 Водного Кодексу України в постановах № 391 від 30.03.1998 і № 758 від 19.09.2018 передбачено не лише використання наявних організаційних структур моніторингу, а також залучення сучасних засобів спостереження за об'єктами довкілля та

комп'ютеризація процесів діяльності. Саме тому усім заінтересованим суб'єктам моніторингу надаються дані звітності, зокрема топографо-геодезична і картографічна інформація, геопросторові дані, архівна та оперативна аерокосмічна інформація ДЗЗ на території України. Але, на жаль, наразі наявні нормативно-правові документи, що здійснюють регулювання та надають рекомендації щодо методик проведення моніторингу водних об'єктів, не містять алгоритмів використання цих даних, а використання ГІС передбачено лише на етапі звітування під час картографування результатів визначення основних антропогенних навантажень та їх впливів на водні об'єкти [5, 9].

Таким чином, *метою статті* є підвищення об'єктивності оцінок щодо стану водних об'єктів шляхом розроблення моделі інформаційної технології оцінювання антропогенного навантаження на основі використання просторово-розподілених даних.

Оцінювання антропогенного навантаження на водні об'єкти з використанням просторово-розподілених даних

Відповідно «Методичних рекомендацій щодо визначення основних антропогенних навантажень та їх впливів на стан поверхневих вод», розроблених і затверджених в рамках реалізації Проєкту технічної допомоги Європейського Союзу «Підтримка України в апроксимації законодавства ЄС у сфері навколишнього середовища», до антропогенних навантажень та їх впливів відносять гідроморфологічні зміни та забруднення органічними, біогенними та небезпечними речовинами. Критерієм оцінки основних антропогенних навантажень на стан річок є існування для них ризику недосягнення екологічних цілей [9].

Основою для формування оцінок антропогенних навантажень та їх впливів є модель DPSIR, яка запропонована Європейським Агентством навколишнього середовища. Згідно неї за результатами оцінювання відбувається уточнення екологічних цілей, а також розроблення та виконання програми державного моніторингу вод або програми заходів для досягнення екологічних цілей. Ці рішення формуються шляхом послідовного аналізу за схемою [10, 11]:

Drivers → Pressures → State → Impact → Response, (1)

де *Drivers* – визначення виду діяльності або чиннику, що впливає на стан водних об'єктів, наприклад, зростання населення;

Pressures – ідентифікація типу навантаження за визначеним чинником, наприклад, скидання стічних вод;

State – характер навантаження за певним показником, наприклад, збільшення вмісту поживних речовин;

Impact – оцінка впливу навантаження за певним показником, наприклад, зміна структури біотичних груп;

Response – програма заходів щодо нейтралізації впливу певного типу антропогенного навантаження, наприклад, реконструкція очисних споруд.

До основних чинників антропогенного навантаження, що впливають на умови існування водних об'єктів, відносять [5, 9]: населення, підприємства різних галузей економіки України, сільське господарство, поперечні споруди на малих і середніх річках тощо. Як вхідні дані для оцінювання цих впливів розглядають данні моніторингу якості води протягом року, які містять, у найкращому випадку, щомісячні значення. Інколи використовують інформацію за декілька років [4, 9],

адже масштабний моніторинг якості води традиційними лабораторними методами зазвичай ускладнено через їх значну вартість і тривалість [12]. При цьому оцінювання гідроморфологічних змін, які є однією з головних водно-екологічних проблем, що перешкоджають досягненню встановлених екологічних цілей, признано вкрай важким. При цьому в рекомендаціях питання їх визначення й оцінювання розкрито не в повному обсязі [5, 9]: не має переліку джерел вихідних даних, передбачено залучення експертів під час формування критерію оцінювання, припускається невизначеність у вихідних даних (див. табл. 2) при формуванні підсумкових висновків та ін.

Таблиця 2

Гідроморфологічні та хімічні зміни, що можливо досліджувати за даними ДЗЗ, і оцінки ризику внаслідок їх впливу (складено авторами за даними «Методичних рекомендацій...» [9] і наказу Мінприроди України № 5 від 14.01.2019)

Чинник	Критерій оцінки ризику недосягнення екологічних цілей		
	«Без ризику»	«Можливо під ризиком»	«Під ризиком»
I. Порушення неперервності потоку води та середовищ			
1*. Поперечні споруди в руслі річки, переривання потоку води, порушення гідравлічного зв'язку між руслами річок та їх заплавами	Відсутність поперечних штучних бар'єрів у руслі річок, відсутність обмежень природного обміну водою між річкою та її заплавою	Відсутня достовірна інформація	Наявність одного або декількох поперечних штучних бар'єрів, природний обмін водою між річкою та її заплавою порушений
II. Гідроморфологічні зміни			
5*. Порушення природних гідроморфологічних характеристик (варіабельність ширини та глибини, руслові процеси, ерозія, відкладення наносів тощо)	Морфологія водних об'єктів майже природна або слабо модифікована	Кількість та якість даних недостатня або морфологія водних об'єктів є помітно модифікованою	Існують значні зміни морфологічних характеристик під дією зовнішніх впливів
Забруднення біогенними речовинами			
1. Скид стічних вод (процеси евтрофікації)	Природні колір і прозорість води (або їх слаба модифікація), колір берегів без суттєвих змін, відсутність ознак заростання	Кількість та якість даних недостатня або зміни водних об'єктів є помітними	Зміна кольору та зниження прозорості води, скупчення рослинності, зміна кольору та стану берегів, їх інтенсивне заростання під дією антропогенних факторів

Примітка. * Нумерацію чинників збережено відповідно до [9].

Зазначимо, що складність задач оцінювання змін характеристик річок, внаслідок господарської діяльності, визначають не лише вітчизняні, але зарубіжні дослідники. Так у багатьох дослідженнях, наприклад, [2, 8, 11], підкреслюється, що значна невизначеність факторів оцінювання, пов'язана з недостатністю даних моніторингу, яка є наслідком суттєвого скорочення мережі моніторингових спостережень, зниженням їх якості внаслідок зменшення кількості вимірів витрати води, практичного припинення водобалансових досліджень на спеціалізованих станціях, застарілого обладнання, військових дій тощо. За цих обставин залучення методу дистанційного зондування до моніторингу змін

водних систем надає змогу досліджувати стан річкових басейнів [6, 10, 12] у важкодоступних регіонах України, адже пости спостереження в зоні ведення бойових дій і на тимчасово окупованих територіях закриті [5]. Слід підкреслити, що хоча за останні кілька десятиліть методи ДЗЗ признано успішними, вони не надають всього комплексу даних для повної оцінки змін усіх характеристик річок [8, 12]. Тому в табл. 2 сформовано перелік чинників цього типу, які, на думку авторів, можливо досліджувати з використанням дистанційних даних.

Акцентуючи увагу на даних ДЗЗ, визначимо їх місце в послідовності оцінювання антропогенних навантажень відповідно до моделі DPSIR (1).

З використаннями авторської методології дослідження інформаційних процесів концептуально подамо процес оцінювання як теоретико-множинну модель його інформаційних потоків [14]:

$$I_Pr = (V, Z, \phi, A, O, \psi), \quad (2)$$

яку для легкості сприйняття представимо за допомогою стандарту функціонального моделювання IDEF0 у вигляді контекстної діаграми (рис. 1), ICOM-коди якої розкривають зміст множин моделі.

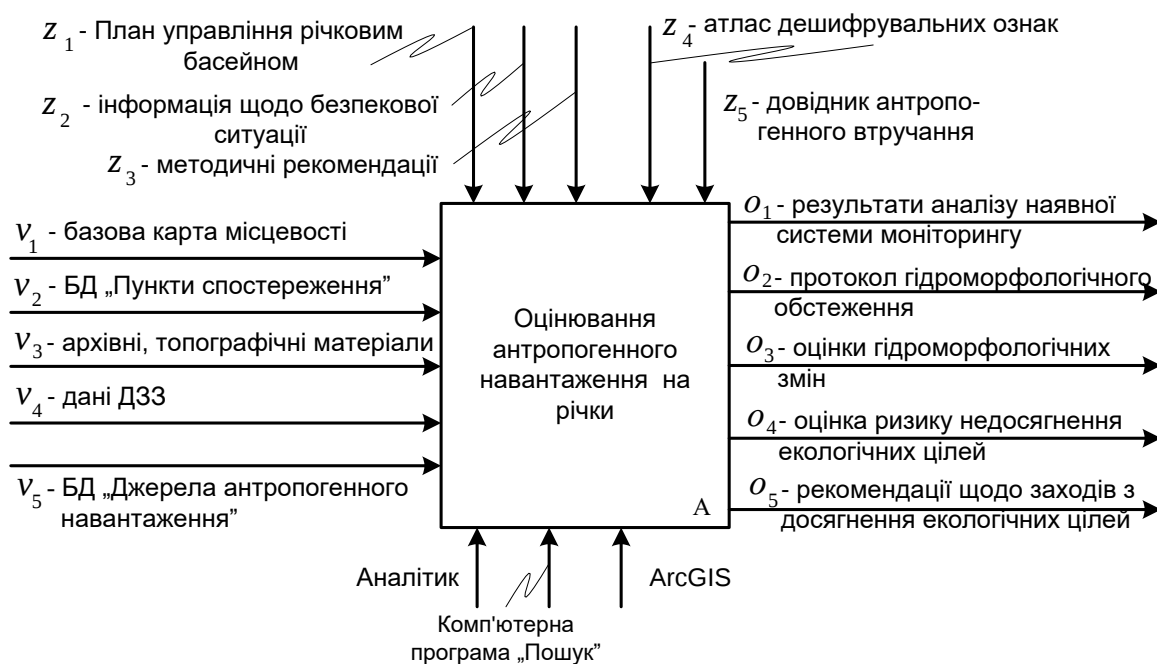


Рис. 1. Контекстна діаграма процесу оцінювання антропогенних навантажень

На діаграмі процесу I_Pr (Рис. 1) множина $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ – множина вхідних даних. Кількість її елементів визначено з урахуванням припущення, що попередні висновки щодо стану водних об'єктів та їх оцінок і подальші рішення формують з урахуванням картографічних та дистанційних даних, які далі уточнюють і доповнюють з використанням традиційних лабораторних методів та архівної інформації, наданої Держгеокадастром. Множина $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$ – це множина документів, які регламентують оцінювання антропогенних навантажень на водні об'єкти (тут під z_3 розуміють методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень [9]). Вихідну інформацію

узагальнено в множину $O = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5\}$ – це дані, що отримують під час реалізації процесу оцінювання антропогенних навантажень.

Також у моделі (2) ϕ – це функція оновлення, тобто відображення [14]:

$$\phi: V \times Z \rightarrow V, \quad (3)$$

реалізація якого передбачає уточнення вхідних даних V залежно від вимог документів множини Z . Тобто в момент часу t вхід процесу $V(t)$ залежить від входу в попередній момент часу $V(t-1)$ і множини регламентуючих документів $Z(t)$.

Множина $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ процесу I_Pr – це його операції, де можливо застосовувати дистанційні дані. Вона поєднує такі елементи: a_1 – аналіз стану наявної системи моніторингу водних об'єктів; a_2 – уточнення гідрологічного та морфологічного стану; a_3 – оцінювання гідроморфологічних змін; a_4 – оцінювання антропогенного навантаження. Операції, пов'язані з лабораторними дослідженнями стану водних об'єктів, до множини A не включено.

Після уточнення вхідних даних шляхом виконання функції (3) правила формування вихідних даних процесу I_Pr визначає функція виходів ψ – функція, яку задано відображенням [14]:

$$\psi: A \times V \rightarrow O, \quad (4)$$

яке задає послідовність виконання операцій, визначених множиною $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ та дає змогу сформулювати виходи процесу $O = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5\}$ залежно від входів $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$.

Для розкриття змісту функції ψ відповідно до правил, сформованими в роботі [14], задамо відображення (4) у табличному вигляді (табл. 3).

Таблиця 3

Табличне подання функції виходу (4)

Елементи множини A	Вхідні елементи множини V				
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
a_1	$a_1 o_1$	$a_1 o_1$	$a_1 o_1$	$a_2 o_1$	-
a_2	-	-	$a_2 o_2$	$a_3 o_2$	-
a_3	-	-	$a_3 o_3$	$a_3 o_3$	$a_4 o_3$
a_4	-	-	-	$a_4 o_4$	$a_4 o_5$

У табл. 3 кожному рядку відповідає одна з операцій a_j ($j = \overline{1,4}$) множини A , а стовбцю – один припустимий вхідний елемент v_n ($n = \overline{1,5}$) множини V . У комірці на перетині рядка та стовпця вказано операцію a_j , виконання якої відбувається при надходженні на вхід процесу елемента v_n , а також вихідний елемент o_l ($l = \overline{1,5}$), який з'явиться під час виконання операції a_j . Окремо виділено елементи $.o_l.$, що у подальшому використовують на наступних операціях a_j (тобто визначають внутрішні міжопераційні зв'язки). Наприклад, при реалізації операції a_1 на вхід процесу надходять елементи v_1 , v_2 та v_3 . Їх узагальнення

дає змогу отримати вихід o_1 , який є необхідним для подальшого виконання операції a_2 .

Для полегшення сприйняття інформаційних потоків та операцій процесу I_Pr при одночасному дотриманні строгості та формальності подання зобразимо табл. 3 у вигляді IDEF0-моделі (рис. 2). Відповідно до вимог стандарту функціонального моделювання ця модель визначає структуру інформаційної технології оцінювання антропогенного навантаження на водні об'єкти.

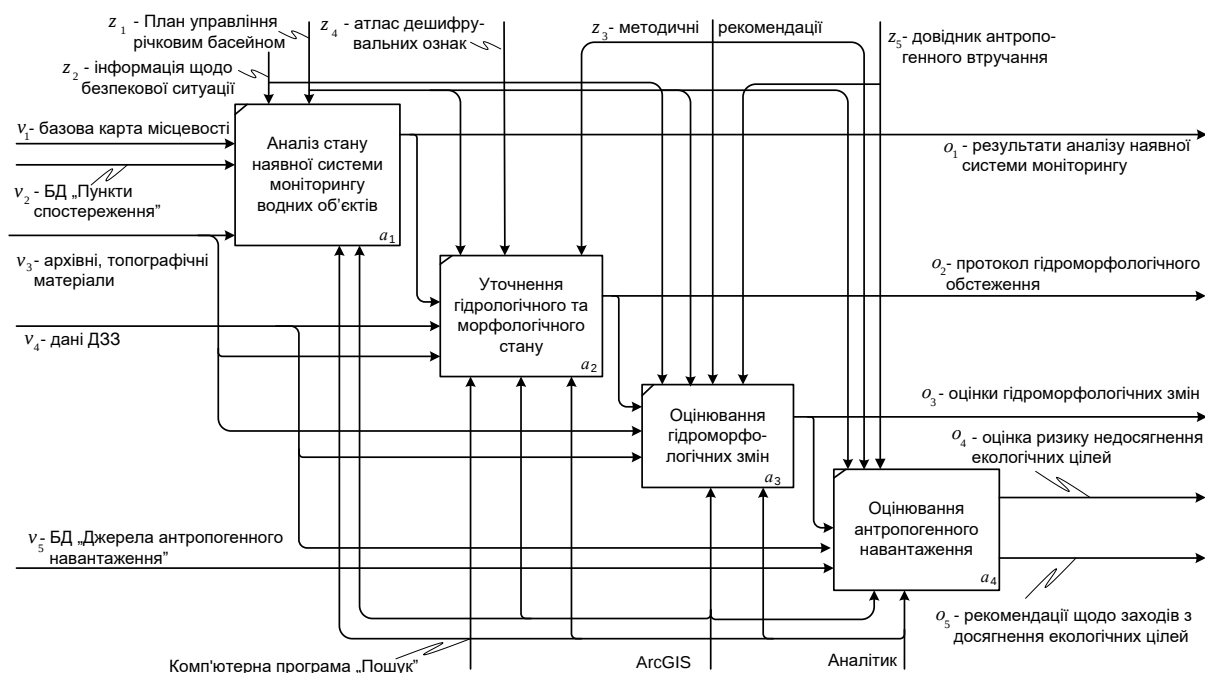


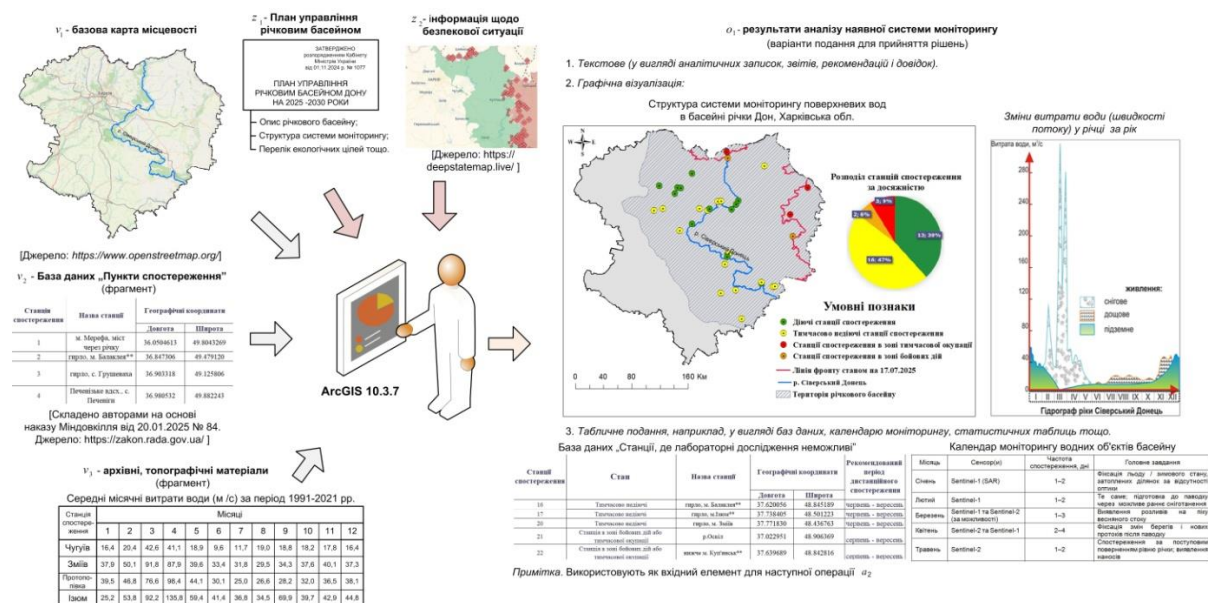
Рис. 2. IDEF0-модель процесу як структура інформаційної технології оцінювання антропогенних навантажень на основі просторово-розподілених даних

У IDEF0-моделі як засіб виконання операцій $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ розглядають ГІС ArcGIS 10.3.7, яка містить набір інструментів для поєднання геопросторових картографічних і дистанційних даних. Також для попередньої обробки даних ДЗЗ під час уточнення гідрологічного та морфологічного стану водних об'єктів пропонується використання авторської комп'ютерної програми «Пошук», опис якої наведено у роботі [15].

Аналіз наявної системи моніторингу стану річкового басейну Дону

Для ілюстрації ефективності запропонованих ідей проаналізуємо наявну систему моніторингу стану річкового басейну Дону на території Харківської області.

Відповідно до IDEF0-моделі як вхідні дані для аналізу використовуються базова карта місцевості, база даних «Пункти спостереження», сформована на основі наказу Міндовкілля від 20.01.2025 р. № 84, та архівні матеріали, зокрема, щодо втрат води за період 1991 – 2021 рр. (рис. 3).

Рис. 3. Формування виходу o_1 на операції a_1

Поєднання входів v_1 та v_2 у середовищі ArcGIS показує, що на площі у 21,9 тис. км² річкового басейну Дону в Харківській обл. розташовано 34 станції спостереження. Аналіз цих даних у поєднанні з відкритою інформацією щодо безпекової ситуації в Харківській обл. (за даними ресурсу <https://deepstatemap.live/> станом на 17.07.2025) показав, що 6 % станцій розташовано в зоні бойових дій, зокрема 2 поблизу Борової та Вовчанська, 9 % станцій – в зоні тимчасової окупації, зокрема поблизу Куп'янська та Вовчанська. Роботу 16 станцій тимчасово припинено через близькість до бойових дій, зокрема, поблизу Борової та Великого Бурлука. Лише 38 % станцій регулярно виконують дослідження водних об'єктів згідно з «Планом управління річковим басейном Дону». За цих обставин дані ДЗЗ стають єдиним джерелом даних для ефективного виконання завдань моніторингу і досягнення екологічних цілей.

Для вирішення питання щодо вибору періоду дистанційного спостереження використаємо вхід v_3 . Візуальне узагальнення багаторічної інформації подано у вигляді гідрографу – графіку зміни витрати води (швидкості потоку) у річці за рік, якій дозволяє проаналізувати характер розподілу водного живлення. На прикладі Сіверського Донця бачимо, що в період лютий – квітень (II–IV) фіксується різке зростання швидкості потоку через весняне сніготанення (на піку більш 280 м³/с), найнижча швидкість спостерігається в травні – серпні (V–VIII), коли переважає підземне живлення (хоча, можливі короткі дощові паводки). Вересень – жовтень (IX–X) характеризується незначним підвищенням швидкості через дощове живлення, а в листопаді – січні (XI–I) – стабільні низькі витрати, в основному, через підземне живлення [16].

На основі гідрографу складено календар моніторингу, за яким у подальшому відбувається уточнення гідрологічного та морфологічного стану Сіверського Донця за супутниковими знімками.

Отже, дистанційні дані дають змогу виконувати такі основні операції:

1. Базове картування русла (серпень – вересень), коли рівень води найнижчий та дозволяє побачити оголені мілини, коси, берегові деформації тощо.
2. Аналіз наслідків паводків (квітень – травень) одразу після спаду весняної

повені, коли можна зафіксувати нові протоки, розмиви, наносні форми тощо.

3. Оцінювання наслідків дощових паводків (червень – липень), наприклад, вибірково після сильних злив для порівняння станів «до/після» і формування уявлення про короточасні зміни русла.

4. Дослідження стану берегової лінії (жовтень – листопад), коли немає зеленого покрову та береги стають краще видимими у лісистих ділянках.

Неоптимальним періодом для дослідження за супутниковими даними є січень – лютий, коли наявний лід, сніг та є низький кут сонця, а також березень через значну суцільну хмарність під час піку повені.

При цьому під час обрання та завантаження супутникових знімків слід встановлювати фільтр на рівні менше 20 % хмарності (за умови, що хмарні дні повністю виключати не можна). Для критичних дат (наприклад, у період повені) рекомендується використовувати SAR, що надає інформацію в умовах значної хмарності.

Висновки

Проведений аналіз нормативно-правової бази підкреслює необхідність удосконалення існуючих підходів до оцінювання антропогенного навантаження на водні ресурси. При цьому (як показують результати бібліографічного пошуку та практичні дослідження) процес оцінювання ускладнено фрагментарністю даних, слабкою інтеграцією просторового аналізу та низькою адаптивністю традиційних методик до змін клімату та інтенсивної людської діяльності.

У статті запропоновано IDEF0-модель, що розкриває структуру ІТ, яка поєднує картографічні, дистанційні, архівні дані, ГІС і цифрову обробку зображень для ідентифікації джерел впливу, здійснення моніторингу змін у річкових басейнах, підвищення точності оцінок стану водних об'єктів для формування ґрунтовних рішень по досягненню екологічних цілей. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес ідентифікації основних джерел впливу, підвищити просторову точність оцінок та оперативність моніторингу стану водних екосистем. Це сприяє обґрунтованому прийняттю рішень у сфері управління водними ресурсами.

На прикладі аналізу існуючої системи моніторингу річкового басейну Дону у Харківській області проведено дослідження можливості застосування запропонованої ІТ. За отриманими висновками лише 38 % станцій регулярно виконують спостереження водних об'єктів згідно з «Планом управління річковим басейном Дону». Це ще раз підтверджує висновки, що дистанційні дані стають єдиним джерелом актуальної інформації для досягнення екологічних цілей. Аналіз архівної інформації щодо річної зміни витрат води (швидкості потоку) у річці дозволив скласти календар моніторингу для подальшого уточнення гідрологічного та морфологічного стану водних об'єктів за супутниковими знімками.

Подальші дослідження полягають в розробленні методів оцінювання гідроморфологічних змін водних об'єктів, що можливо досліджувати за дистанційними даними, отриманими зі супутників Sentinel та розробку прикладного програмного модуля для аналізу антропогенних факторів.

Список літератури

1. Quality Unknown: The Invisible Water Crisis / Damania R. et al.

Washington, D.C. USA: World Bank, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1459-4>.

2. Jadav K., Yadav B. The Hindon River basin crisis: Anthropogenic and climatic impacts on groundwater depletion and public health risks. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. – Vol. 61. Article 102661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102661>.

3. Крайнюков О. М. Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2015. № 3 - 4. С. 71 – 77.

4. Ліхо О. А., Клименко О. М., Статник І. І. Антропогенний вплив на геосистеми (басейни річок): навч. посібник. Рівне: ФОП Червінко А. В., 2011. – 202 с.

5. План управління річковим басейном Дону на 2025 – 2030 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01 листопада 2024 р., № 1077. Офіційний вісник України. 2024. № 101. Ст. 6477.

6. Remote sensing approach in evaluating anthropogenic impacts on the spatiotemporal changes in net primary productivity of the Niger river basin, from 2000 to 2020 / O. Chukwuka et al. *Helion*. 2023. Vol. 9, issue 11. Article e21246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21246>.

7. Twumasi Y. A, Merem E. C. Using Remote Sensing and GIS in the Analysis of Ecosystem Decline along the River Niger Basin: The Case of Mali and Niger. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2007. – Vol. 4, issue 2. P. 173 – 184. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph2007040013>.

8. The applications of GIS in the analysis of the impacts of human activities on south Texas watersheds / E. C. Merem et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2011. – Vol. 8, issue 6. P. 2418 – 2446. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph8062418>.

9. Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод / уклад.: С. Вихрист, К. Мудра, Е. Осійський, М. Скоблей, О. Ярошевич. К.: Держводагенство, 2018. – 21 с.

10. Yi R., Chen Y., Chen A. Evaluating urban climate resilience in the Yangtze River Delta urban agglomeration: A novel method integrating the DPSIR model and Sustainable Development Goals. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 376. Article 124517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124517>.

11. New insights into the DPSIR model: Revealing the dynamic feedback mechanism and efficiency of ecological civilization construction in China / H. Chen et al. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 348. Article 131377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131377>.

12. Integrating river discharge and Sentinel-2 satellite imagery for enhanced turbidity mapping in arid region rivers: A machine learning approach / M. Ahmadi, A. Noori, S. H. Mohajeri, M. R. Nikoo. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2025 Vol. 138. Article 103869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103869>.

13. Гідроморфологічний моніторинг та оцінювання масивів поверхневих вод категорії / уклад.: Є. Василенко, О. Кошкіна, К. Мудра, О. Ярошевич. К.: Нац. академія наук України, 2024. 90 с.

14. Information technology for analysis of waste management objects infrastructure / S. Danshyna, A. Nechausov, S. Andrieiev, V. Cheranovskiy. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2022. № 2. P. 97 – 107. DOI:

<https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.08>.

15. Комп'ютерна програма для роботи з зображеннями «Пошук»: а. с. 125831 / С. Ю. Даншина, К. Д. Подорожко; заявл. 18.04.2024 р.; опубл. 31.05.2024; Бюл. № 81. С. 769 – 770.

16. Danshyna S., Podorozhko K. Spatial assessment of infrastructure projects. Decision support systems in project and program management : collective monograph / edited by I. Linde. European University Press. Riga, ISMA, 2024. P. 41 – 52. DOI: <https://doi.org/10.30837/MMP.2024.041>.

References

1. Damania R., Desbureaux S., Hyland M., Islam A., Moore S. (2019), «Quality Unknown: The Invisible Water Crisis», Washington, D.C.: World Bank, DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1459-4>.

2. Jadav K., Yadav B. (2025), «The Hindon River basin crisis: Anthropogenic and climatic impacts on groundwater depletion and public health risks», Journal of Hydrology: Regional Studies, vol. 61, article 102661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102661>.

3. Krainiukov O. M. (2015), «Current ecological state of water bodies of the Siverskyi Donets River basin» [Suchasnyi ekolohichnyi stan vodnykh ob'ektiv baseinu richky Siverskyi Donets], Man and Environment. Issues of Neoecology. no. 3 – 4. pp. 71 – 77.

4. Likho O. A., Klymenko O. M., Statnyk I. I. (2011), «Anthropogenic impact on geosystems (river basins)» [Antropohennyi vplyv na heosystemy (baseiny richok)]. Rivne: FOP Chervinko A. V.

5. Government of Ukraine. (2024). Don River Basin Management Plan for 2025–2030 (Order No. 1077). Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, (101), art. 6477 (In Ukrainian).

6. Chukwuka O., Emeka I., Ibrahim Y., Fenetahun Y., Yuan Y., Yongdong W. (2023), “Remote sensing approach in evaluating anthropogenic impacts on the spatiotemporal changes in net primary productivity of the Niger river basin, from 2000 to 2020”, *Helion*, vol. 9, issue 11. article e21246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21246>.

7. Twumasi Y. A., Merem E. C. (2007), «Using Remote Sensing and GIS in the Analysis of Ecosystem Decline along the River Niger Basin: The Case of Mali and Niger», International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 4, issue 2, pp. 173 – 184. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph2007040013>.

8. Merem E. C., Yerramilli S., Twumasi Y. A., Wesley J. M., Robinson B., Richardson Ch. (2011), «The applications of GIS in the analysis of the impacts of human activities on south Texas watersheds», International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 8, issue 6. pp. 2418 – 2446. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph8062418>.

9. Vykhryst, S., Mudra, K., Osiiskyi, E., Skoblei, M., Yaroshevych, O. (2018), «Methodological recommendations for determining the main anthropogenic pressures and their impacts on the state of surface waters» [Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia osnovnykh antropohennykh navantazhen ta yikhnikh vplyviv na stan poverkhnevyykh vod]. Derzhvodahenstvo.

10. Yi R., Chen Y., Chen A. (2025), «Evaluating urban climate resilience in the Yangtze River Delta urban agglomeration: A novel method integrating the DPSIR model and Sustainable Development Goals», Journal of Environmental Management. vol. 376. article 124517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124517>.

11. Chen H., Xu J., Zhang K., Guo Sh., Lv X., Mu X., Yang L. (2022), «New insights into the DPSIR model: Revealing the dynamic feedback mechanism and efficiency of ecological civilization construction in China», *Journal of Cleaner Production*, vol. 348. Article 131377.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131377>.

12. Ahmadi M., Noori A., Mohajeri S. H., Nikoo M. R. (2025), «Integrating river discharge and Sentinel-2 satellite imagery for enhanced turbidity mapping in arid region rivers: A machine learning approach», *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 138. article 103869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103869>.

13. Vasylenko Ye., Koshkina O., Mudra K., Yaroshevych O. (2024), «Hydromorphological monitoring and assessment of surface water bodies of category», [Hidromorfolohichnyi monitorynh ta otsiniuvannia masyviv poverkhnevyykh vod katehori]. Kyiv: Nats. akademiia nauk Ukrainy.

14. Danshyna S., Nechausov A., Andrieiev S., Cheranovskiy V. (2022), «Information technology for analysis of waste management objects infrastructure», *Radioelectronic and Computer Systems*, no. 2. pp. 97 – 107. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.08>.

15. Kompiuterna prohrama dlia roboty z zobrazhenniamy «Poshuk» [Computer program for working with images «Search»] (Author's Certificate no. 125831). Bulletin no. 81, pp. 769 – 770.

16. Danshyna S., Podorozhko K. (2024), «Spatial assessment of infrastructure projects», *Decision support systems in project and program management: collective monograph*. In I. Linde (Ed.). European University Press. Riga, ISMA, pp. 41 – 52. DOI: <https://doi.org/10.30837/MMP.2024.041>.

Надійшла до редакції 15.10.2025, розглянута на редколегії 14.11.2025

Information Technology for Assessing Anthropogenic Pressure on Water Bodies

The **purpose** of this work is to increase the objectivity of the assessments of the state of water bodies by developing a model of an information technology (IT) for evaluating anthropogenic load based on the use of spatially data. The **objectives** of the study are to analyze the regulatory framework governing the assessment of anthropogenic impact on water resources, to study existing methods for assessing anthropogenic load and the associated risks of failing to achieve environmental goals, and to improve the assessment process by integrating current geospatial data with archival information. **Methods** of geoinformation analysis of satellite images, system analysis, and functional modeling were used. **Results.** The requirements of current legislation concerning the monitoring of water bodies have been systematized. A set-theoretical model for assessing anthropogenic load is proposed, integrating cartographic and remote sensing data with spatial analytics. The developed IDEF0 model illustrates the sequence of processing cartographic materials, archival records, and satellite imagery to complement field observations and support the development of effective solutions aimed at achieving environmental goals. **Conclusions.** The objectivity of assessing anthropogenic impact in river basins is limited by fragmentary data, weak integration of spatial analysis, and low adaptability of traditional methods to climate change and intensive human activity. The paper proposes a model that reveals the structure of IT, combining cartographic, remote sensing, archival data, GIS,

and digital image processing to identify sources of impact, monitor changes in river basins, and improve the accuracy of assessments of the state of water bodies for making informed decisions on achieving environmental goals. An example of the application of the developed IT in the Kharkiv region showed that currently only 38% of existing observation stations provide information on the state of water bodies in accordance with the Don River Basin Management Plan. This reduces the objectivity of the assessments provided and increases the risks of not achieving environmental goals. Therefore, the use of remote data becomes an effective source of up-to-date information for making effective environmental decisions.

Keywords: DPSIR model; information process; set-theoretic model; functional modeling; mapping; hydrograph.

Відомості про авторів:

Даншина Світлана Юріївна – д.т.н., професор, кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: s.danshyna@khai.edu, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>.

Подорожко Катерина Дмитрівна – аспірант, асистент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: k.d.buriak@khai.edu, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9619-7650>.

About the Authors:

Svitlana Danshyna – Doctor of Sciences (Engineering), Docent, Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth; National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine. e-mail: s.danshyna@khai.edu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>.

Kateryna Podorozhko – Post-graduate student, Assistant, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine. e-mail: k.d.buriak@khai.edu, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9619-7650>.