

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-11-17>

УДК: 004.89

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Критська Я.О., Білобородова Т.О.

### GEOSPATIAL IMAGES PROCESSING AND ANALYSIS FOR REMOTE SURFACE WATER MONITORING

Krytska Y.O., Biloborodova T.O.

Поверхневі води є важливими природним ресурсом та відіграють важливу роль в багатьох аспектах людського життя, таких як питна вода, сільське господарство, виробництво електроенергії, транспорт та промисловість. Зміни поверхневих вод впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість якісного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки. Останнім часом дедалі більшої популярності набувають методи аналізу поверхневих вод на основі супутникових зображень. В роботі досліджені можливості і перспективи використання методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. Визначено та формалізовано етапи моніторингу поверхневих вод на основі геопросторових зображень. Визначено класифікацію методів виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень, що включає методи на основі спектральних діапазонів, методи контрольованої класифікація на основі методів машинного навчання та методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. Розглянуто особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод та критеріїв оцінки його точності. Ключовим критерієм оцінки точності є загальна точність класифікації зображень, однак, доцільно використовувати декілька специфічних критеріїв оцінки, таких як коефіцієнт узгодженості МІСЕ, точність виробника, точність користувача, для отримання надійнішої оцінки. Проведено дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу на прикладі озера Піцане Луганської області в період водопілля 2018-2019 років. Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу з застосуванням нормованого диференційованого індексу вологості території озера Піцане дозволило виявити певну невизначеність при підборі порогових значень для ефективного диференціювання. Також, виявлено суттєву залежність методу від факторів атмосферних умов, таких як хмарність, туман, задимленість або температурна інверсія на момент зйомки геопросторового зображення, що обумовлює необхідність атмосферної корекції супутникових даних до рівня обробки L2A.

**Ключові слова:** моніторинг водних поверхонь, індекс вологості, нормалізований диференційований індекс вологості, класифікація геопросторових зображень

**Вступ.** Поверхневі води відносяться до вод на поверхні Землі, таких як річки, озера, водно-болотні угіддя та океан. Поверхневі води є важливими ресурсом прісної води, що має важливе значення в багатьох аспектах людського життя, таких як питна вода, сільське господарство, виробництво електроенергії, транспорт та промисловість. Поверхневі води за своєю природою є динамічним об'єктом, зміни якого впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість ефективного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки.

Проведення моніторингу поверхневих вод з використанням локальних ресурсів може бути дорогим та трудомістким. Останнім часом дедалі більшої популярності набувають альтернативні методи аналізу поверхневих вод з використанням супутникових зображень. Дистанційне зондування є ефективним підходом для синоптичної оцінки вологості ґрунту [1], моніторингу води та рівня води [2], моделювання водоспоживання [3], управління підземними водами, картування паводків [4] та моніторингу якості води [5].

Метою роботи є дослідження можливостей і перспектив використання методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод.

Завдання дослідження визначено наступним чином:

- визначення та формалізація етапів моніторингу поверхневих вод на основі геопросторових зображень;
- класифікація методів виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень;
- особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод;
- критерії оцінки точності аналізу поверхневих вод на основі зображень;

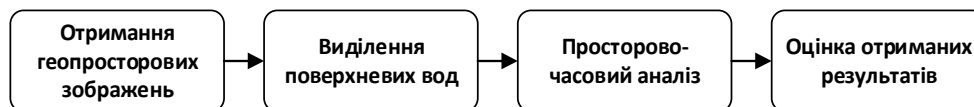


Рис. 1. Структура моніторингу поверхневих вод на основі зображень

- дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу.

Моніторинг поверхневих вод на основі геопросторових зображень. Моніторинг поверхневих вод на основі геопросторових зображень включає наступні етапи: отримання даних, виділення даних, що відповідають водній поверхні, просторово-часовий аналіз виділених даних, оцінка точності виділення поверхневих вод на геопросторових зображеннях.

Геопросторові зображення отримуються за допомогою супутникових оптико-електронних систем. Отримання даних дистанційного зондування Землі проводиться у видимому та інфрачервоному діапазоні. Отримані знімки, також, розрізняють за просторовою розподільною здатністю, що характеризує розмір найменших об'єктів, помітних на зображенні. Дані дистанційного зондування проходять попередню обробку, яка включає комплекс операцій зі знімками, спрямований на усунення різноманітних спотворень зображення. Етап отримання даних може включати геометричну корекцію, що включає інтеграцію отриманих даних з картами. При геометричній корекції проводиться зіставлення отриманого зображення масштабу і проекції існуючої карти [6].

Етапи виділення даних поверхневих вод, просторово-часового аналізу та об'єднання даних розглянуто далі.

Виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень. Більшість методів виділення поверхневих вод з зображень базуються на відбивній здатності води, що є набагато меншою в порівнянні з іншими типами земного покриття в інфрачервоних каналах.

Методи виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень поділяють [7] на три категорії: (1) методи на основі спектральних діапазонів, (2) методи контрольованої класифікації на основі методів машинного навчання, (3) методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. При проведенні аналізу часто використовується комбінація декількох методів, тому використання методів не є взаємовиключними.

*Методи на основі спектральних діапазонів* визначають водні об'єкти шляхом застосування порогових значень до однієї або кількох спектральних смуг, легко реалізувати, але часто неправильно класифікують гірські тіні, міські райони або інший фон шум [8].

*Класифікація на основі методів машинного навчання* включає методи контрольованого та неконтрольованого навчання для виділення водних об'єктів із мультиспектральних зображень. Для контрольованої класифікації популярними методами є алгоритми

максимальної правдоподібності, дерева рішень, штучні нейронні мережі та алгоритм опорних векторів. Для неконтрольованої класифікації найпоширеніші методи включають використання  $k$ -середніх та ітераційний самоорганізуючий аналіз даних [9,10]. В дослідженнях [11,12] методи машинного навчання, зокрема, алгоритм дерева рішень, застосовуються для виділення поверхневих вод з використанням мультиспектральних діапазонів. За деяких обставин ці підходи можуть досягти більш високої точності, ніж методи спектральних діапазонів. Однак, отримання точних моделей вимагає великої кількості анотованих даних, в деяких випадках вузькоспеціалізованих експертних знань, що запобігає застосуванню цих методів на великих площах [13]. Також, навчені класифікаційні моделі мають складності з відтворюваністю на репрезентативних даних, що, є перешкодою до універсальності їх застосування.

*Методи на основі індексів води.* Ці методи поєднують два або більше спектральних діапазонів, використовуючи різні алгебраїчні операції, щоб збільшити розбіжність між поверхнями води та ґрунту.

Використання індексів води є простим та ефективним способом виділення поверхні води, що розраховуються з використанням даних двох або більше кольорних діапазонів, для диференціювання водних та неводних територій.

Популярними індексами, що використовуються для виділення поверхневих вод з геопросторових зображень є нормалізований диференційований індекс рослинності (англ. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) [14], нормалізований диференційований індекс вологості (Normalized Difference Wetness Index (NDWI)) [15,16], mNDWI [17], індекс автоматичного виділення води (Automated Water Extraction Index (AWEI)) [18].

NDVI є часто використовуваним індексом та ідентифікує присутність хлорофілу у рослинності. NDVI розраховується наступним чином (1).

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3), \quad (1)$$

де  $\rho$  представляє коефіцієнт відбиття для наступних діапазонів 1 - синій, 2 - зелений, 3 - червоний, 4 - ближнє інфрачервоне випромінювання, 5 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання, 6 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання синього (SWIR1) і 7 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання зеленого (SWIR2), що використовуються в рівняннях, представлених далі.

Червоний діапазон значною мірою поглинається хлорофілом, низький коефіцієнт відбиття. NDVI має високе позитивне значення для здорової рос-

линності і низьке позитивне значення для рослинності, схильної до водного стресу, або загиблої рослинності. NDVI використовувався в дослідженнях для виявлення води та паводків [19]. Він передбачає наявність води шляхом виявлення надземної біомаси, але не дає прямої інформації про наявність відкритої води. Більш корисними для цієї мети є індекси, що виділяють саме водну поверхню, такі як NDWI та його модифікація mNDWI. NDWI визначається як (2).

$$\text{NDWI} = (\rho_2 - \rho_4) / (\rho_2 + \rho_4) \quad (2)$$

mNDWI є більш стабільним і надійним, ніж NDWI, що досягається за рахунок використання діапазону короткохвильового інфрачервоного випромінювання замість діапазону ближнього інфрачервоного діапазону, як це представлено у (3).

$$\text{mNDWI} = (\rho_2 - \rho_5) / (\rho_2 + \rho_5) \quad (3)$$

mNDWI широко використовуються в сучасних дослідженнях [20].

Індекс автоматичного виділення води (AWEI) був введений для підвищення точності класифікації в областях, включаючи тіні та темні поверхні, які інші методи класифікації часто не могли правильно класифікувати [18]. AWEI направлений на максимально точне виділення водних та неводних пікселів за рахунок диференціації, додавання діапазонів та застосування різних коефіцієнтів. Запропоновано два варіанти індексу.  $\text{AWEI}_{\text{nsh}}$ , як показано в рівнянні (4), підходить для ситуацій, коли водні та неводні поверхні відносно однорідні, в той час як  $\text{AWEI}_{\text{sh}}$ , як показано в рівнянні (5), призначений для ефективного усунення тіней або інших темних поверхонь.

$$\text{AWEI}_{\text{nsh}}: 4 \times (\rho_2 - \rho_6) - (0.25 \times \rho_4 + 2.75 \times \rho_7) \quad (4)$$

$$\text{AWEI}_{\text{sh}}: \rho_1 + 2.5 \times \rho_2 - 1.5 \times (\rho_4 + \rho_6) - 0.25 \times \rho_7 \quad (5)$$

Однією з основних цілей використання індексів води при вилученні водних поверхонь із супутникових зображень є спрощення класифікації зображень шляхом визначення значення індексу води як порогового значення для диференціювання водних та неводних пікселів. Проте порогові методи індексу води можуть працювати неефективно [21]. Незалежно від методу вибору порогового значення, методи на основі індексів води відносяться до класифікації неконтрольованих зображень. З одного боку, методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води показують менш точні результати виділення водних поверхонь на зображеннях, але з іншого боку, обчислювальна ефективність неконтрольованих методів зазвичай вища, ніж при застосуванні контрольованої класифікації. Досягнення компромісу між точністю класифікації водних поверхонь та об-

числювальною ефективністю є метою сучасних досліджень.

Просторово-часовий аналіз поверхневих вод. Водні об'єкти за своєю природою динамічні, з часом площа поверхні може зменшуватися або збільшуватися під дією низки природних та антропогенних факторів. Зміни у водних об'єктах впливають на інші природні ресурси та людські активи, і, також, впливають на навколишнє середовище. Таким чином, просторово-часовий моніторинг динаміки водної поверхні необхідний для розуміння глобальної чи регіональної доступності водних ресурсів.

Просторово-часовий моніторинг динаміки водної поверхні першим варіантом зазвичай реалізується шляхом виявлення змін. Розрізняють два підходи виявлення змін: (1) класифікація та подальше порівняння змін, (2) порівняння змін та наступна класифікація.

Перший підхід включає класифікацію кількох зображень, отриманих у різний час та подальше порівняння результатів класифікації для визначення областей збільшення або зменшення водної поверхні. Цей підхід широко використовують у дослідженнях просторово-часового моніторингу водних поверхонь [22,23]. Однак цей підхід зазвичай вимагає додаткових заходів щодо анотації даних при проведенні класифікації і, також, має властивість накопичувати помилки при порівнянні результатів класифікації. Це зумовлює зростання популярності другого підходу. При реалізації другого підходу просторово-часовий аналіз водних поверхонь починається з безпосереднього порівняння зображень, отриманих у різний час, з наступною класифікацією результатів порівняння з різних змінених станів. Цей підхід з використанням аналізу основних компонентів представлений у дослідженні [24], на основі аналізу вектора змін в дослідженні [25]. Автори порівнюють вихідні зображення, потім визначають змінні області шляхом класифікації результатів порівняння. Ці методи скорочують обсяг роботи з класифікації та, таким чином, підвищують ефективність виявлення змін.

Оцінка точності виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень. Точність виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень є ключовим критерієм достовірності використовованого підходу та найважливішим заключним етапом аналізу. Для оцінки точності може використовуватись загальна точність класифікації зображень [26], однак, доцільно використовувати декілька критеріїв для запобігання упередженості одного критерію. Для оцінки точності та надійності класифікації поверхневих вод на геопросторових зображеннях зазвичай використовуються коефіцієнт MICE, загальна точність (англ. overall accuracy (OA)), точність виробника (англ. producer's accuracy (PA)), точність користувача (англ. user's accuracy (UA)) та F-міра. Міри розраховуються на основі матриці помилок представленої у [26]

Коефіцієнт MICE використовується для виміру узгодженості або точності і є загальним індексом для виміру точності класифікації. Значення MICE знаходиться в діапазоні від 0 до 1, де більш високі значення свідчать про більшу надійність результату класифікації. Коефіцієнт розраховується наступним чином, як це представлено в (6).

$$MICE = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{n_{jj}}{n} - \sum_{j=1}^n \left(\frac{n_{j.}}{n}\right)^2}{1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{n_{j.}}{n}\right)^2}, \quad (6)$$

де  $n_{jj}$  – частка правильно класифікованих вибірок у класі  $j$  по діагоналі матриці помилок,  $n_j$  – спрощене представлення  $n+j$ , яке зазвичай використовується для представлення контрольної суми, а  $n$  – загальна кількість типів поверхні.

Загальна точність OA, згідно з матриці помилок представленої у [26] розраховується наступним чином (7).

$$OA = \sum_{j=1}^n \frac{n_{jj}}{n}. \quad (7)$$

Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу.

*Область дослідження.* В якості області дослідження для спостереження за рівнем посухи та наявності вологості обрано долину річки Сіверський Донець, поруч зі смугою заплавлених озер: Піщане, Кругле, Біле в Луганській області, що представлена на світовій мапі та мапі регіону на рис. 2.

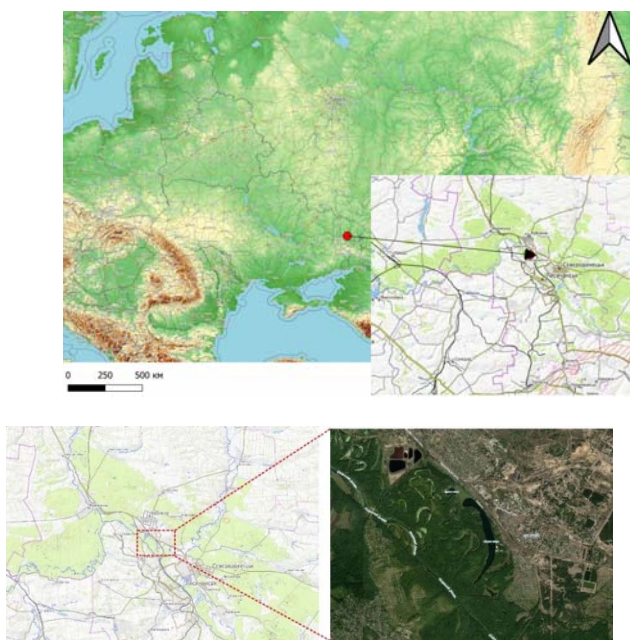


Рис. 2. Географічне розташування озера Піщане на мапі

Об'єктом дослідження обрано озеро Піщане. Озеро розташоване в атлантико-континентальній кліматичній зоні, є природною водоймою, що ле-

жить у річковій долині ріки Сіверський Донець та є єдиною культурно-рекреаційною зоною м. Рубіжне Луганської області.

*Джерела даних.* Реалізація запропонованого підходу проведена з використанням супутникових даних [27,28,29] та програмного забезпечення [30,31]. В якості досліджуваного періоду обрано 2018-2019 роки під час весняного водопілля.

Виділення даних водної поверхні озера Піщане з геопросторових зображень проведено з використанням індексу NDWI, результат застосування індексу до зображень досліджуваної місцини для 2018 та 2019 років представлено на рис. 3а та 3б відповідно.

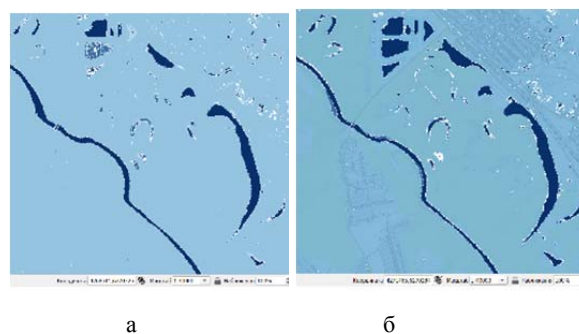


Рис. 3. Картографічне представлення досліджуваної області з використанням індексу NDWI:  
а – мапа зволоженості періоду водопілля 2018 р.;  
б – мапа зволоженості періоду водопілля 2019 р.

Застосування індексу вологості NDWI дозволило створити мапу зволоженості з відтінками від блакитного до синього, як це представлено на рис. 3а, 3б, де синім виділені поверхневі води озера Піщане та прилеглих водоймищ у 2018 та 2019 роках відповідно. З отриманих карт зволоженості, очевидно, що у 2018 році спостерігалось зменшення водних ресурсів, тоді як у 2019 році спостерігалось максимальне наповнення водоймищ.

На основі добору порогового значення проведено групування пікселів в задану кількість класів з підбором граничних значень верхньої межі діапазону, діапазону кольору для кожного класу за дискретною шкалою. Це надало змогу виконати класифікацію за трьома атрибутами: суша, зволожена частина та поверхнева вода. Проведено корекцію на відображення схожих до водного діапазону значень хмар в класі з -0,2187 на -0,1249.

Для перевірки точності розрахунків індексу вологості NDWI обчислено та побудовано гістограми розподілу зволоженості ґрунту території заплавлених озер долини р. Сіверський Донець: Піщане, Кругле, Біле тощо у квітні 2018, травні 2019 р. За оцінкою обчислень та побудови гістограм розподілу зволоженості ґрунту території заплавлених озер у досліджувані періоди весняного водопілля підтверджено точність виконаних розрахунків індексу вологості NDWI. А саме, визначено значення пікселів у гістограмах між [-1; +1], де -1 відповідає мінімально зво-

ложеної поверхні, тобто, ґрунту, а +1 відповідає максимально зволоженої поверхні, тобто, води, та отримано менші значення зволоженості на території заплави у 2018 році в порівнянні з 2019 роком, гістограми яких представлено на рис. 4а та 4б відповідно.

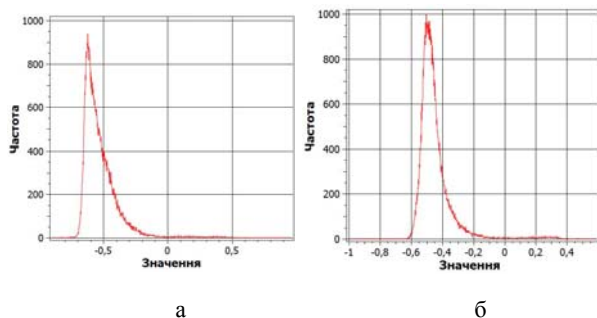


Рис. 4. Гістограми розподілу зволоженості ґрунту: а – період водопілля 2018 р.; б – період водопілля 2019 р.

Діаграми розсіяння дозволили отримати кількісну оцінку розподілу значень індексу вологості NDWI для зображень, представлених на рис. 3а, 3б. З діаграм розсіяння видно, що для рис. 3а, що характеризує зволоженість періоду водопілля у 2018 році, більша кількість значень індексу для пікселів зображення приходить на значення індексу, що дорівнює -0,6, а для рис. 3б, що характеризує зволоженість періоду водопілля у 2019 році, більша кількість значень індексу для пікселів зображення приходить на значення індексу, що дорівнює -0,5. Дані гістограм кількісно підтверджують якісну візуальну оцінку мапи зволоженості. Ще одна кількісна оцінка отримана з застосуванням індексу вологості NDWI на основі зображення території озера Піщане. Зображення використані для визначення площі водної поверхні, яка у 2019 році становила 630325,197 м<sup>2</sup>, а у 2018 року 507736,076 м<sup>2</sup>. Різниця площі заводнення складала 122 589,121 м<sup>2</sup> або 19,45 %.

**Висновки.** Характеристика динаміки поверхневих вод є важливим етапом досліджень, направлених на вивчення екологічних та гідрологічних процесів. Технологія дистанційного зондування забезпечує ефективні способи спостереження динаміки поверхневих вод на основі геопосторових зображень. Розвиток інформаційних технологій надав поштовх методам віддаленого моніторингу поверхневих вод. Більшість досліджень за цим напрямком спрямовані на розробку методів автоматичного виділення поверхневих вод та підвищення точності виділення.

В роботі досліджені можливості і перспективи використання методів обробки та аналізу геопосторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. Визначено та формалізовано етапи моніторингу поверхневих вод на основі геопосторових зображень. Визначено класифікацію методів виділення даних водної поверхні з геопосторових зображень, що включає методи на основі спектральних діапазонів, методи контрольованої класифікації

на основі методів машинного навчання та методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. Розглянуто особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод та критеріїв оцінки його точності. Проведено дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу на прикладі озера Піщане Луганської області в період водопілля 2018-2019 років.

Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу з застосуванням нормованого диференційованого індексу вологості території озера Піщане дозволило виявити певну невизначеність при підборі порогових значень для ефективного диференціювання. Також, виявлено суттєву залежність методу від факторів атмосферних умов на момент зйомки геопосторового зображення (хмар, туману, задимленості, температурної інверсії), що обумовлює необхідність атмосферної корекції супутникових даних до рівня обробки L2A (Surface reflection, SR).

#### Література

1. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B., Voogard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* – 2003. – Т. 28. – №. 1-3. – С. 89-101.
2. Crétaux J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. *Advances in space research.* – 2011. – Т. 47. – №. 9. – С. 1497-1507.
3. Ines A.V., Honda K., Gupta A.D., Droogers P., Clemente R.S. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agricultural water management.* – 2006. – Т. 83. – №. 3. – С. 221-232.
4. Feng Q., Liu J., Gong J. Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier – A case of Yuyao, China. *Water.* – 2015. – Т. 7. – №. 4. – С. 1437-1455.
5. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. *Water.* – 2018. – Т. 10. – №. 6. – С. 756.
6. Jain S. K., Singh V. P. *Water resources systems planning and management.* – Elsevier, 2003.
7. Jiang H., Feng M., Zhu Y., Lu N., Huang J., Xiao T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing.* – 2014. – Т. 6. – №. 6. – С. 5067-5089.
8. Rundquist D.C., Lawson M.P., Queen L.P., Cerveny R.S. The relationship between summer-season rainfall events and lake-surface area. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association.* – 1987. – Т. 23. – №. 3. – С. 493-508.
9. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing.* – 2007. – Т. 28. – №. 5. – С. 823-870.
10. Otukey J. R., Blaschke T. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and

- maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2010. – Т. 12. – С. S27-S31.
11. Acharya T. D., Lee D. H., Yang I. T., Lee, J. K. Identification of water bodies in a Landsat 8 OLI image using a J48 decision tree // *Sensors*. – 2016. – Т. 16. – №. 7. – С. 1075.
  12. Olthof I. Mapping seasonal inundation frequency (1985–2016) along the St-John River, New Brunswick, Canada using the Landsat archive. *Remote Sensing*. – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 143.
  13. Frazier P.S., Page K.J. Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. – 2000. – Т. 66. – №. 12. – С. 1461-1468.
  14. Bastiaanssen W. G. M. et al. Remote sensing in water resources management: The state of the art. – *International Water Management Institute*, 1998.
  15. Nageswara Rao P. P., Mohankumar A. Cropland inventory in the command area of Krishnarajasagar project using satellite data. *Remote sensing*. – 1994. – Т. 15. – №. 6. – С. 1295-1305.
  16. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. – 1996. – Т. 17. – №. 7. – С. 1425-1432.
  17. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*. – 2006. – Т. 27. – №. 14. – С. 3025-3033.
  18. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt, R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – Т. 140. – С. 23-35.
  19. Domenikiotis C., Dalezios N. R., Loukas A., Karteris M. Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. *International Journal of Remote Sensing*. – 2002. – Т. 23. – №. 20. – С. 4235-4246.
  20. Chen F., Chen X., Van de Voorde T., Roberts D., Jiang, H., Xu W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*. – 2020. – Т. 242. – С. 111706.
  21. Li W., Du Z., Ling F., Zhou D., Wang H., Gui Y., Sun B., Zhang X. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*. – 2013. – Т. 5. – №. 11. – С. 5530-5549.
  22. Du Z., Linghu B., Ling F., Li W., Tian W., Wang H. et al. Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin, China. *Journal of Applied Remote Sensing*. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 063609.
  23. Pan F., Xi X., Wang C. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using Landsat imagery. *Remote Sensing*. – 2020. – Т. 12. – №. 10. – С. 1611.
  24. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini, S. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote sensing*. – 2014. – Т. 6. – №. 5. – С. 4173-4189.
  25. Huang C., Zan X., Yang X., Zhang S. Surface water change detection using change vector analysis. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2016. – С. 2834-2837.
  26. G. Shao, L. Tang, H. Zhang Introducing Image Classification Efficacies *IEEE Access*, 9 (2021), pp. 134809-134816, 10.1109/ACCESS.2021.3116526
  27. EO Browser. [Apps.sentinel-hub.com](https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser) URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата звернення 10.01.2022)
  28. EarthExplorer. [Earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov/). URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення 10.01.2022)
  29. OneGeology. [Portal.onegeology.org](http://portal.onegeology.org/) URL: <http://portal.onegeology.org/> (дата звернення 10.01.2022)
  30. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System. [Qgis.org](https://www.qgis.org). URL: <https://www.qgis.org> (дата звернення 10.01.2022)
  31. Giovanni. The Bridge Between Data and Science. [Giovanni.gsfc.nasa.gov](https://giovanni.gsfc.nasa.gov). URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> (дата звернення 10.01.2022).

### References

1. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B. Voogard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. – 2003. – Т. 28. – №. 1-3. – С. 89-101.
2. Crétaux J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. *Advances in space research*. – 2011. – Т. 47. – №. 9. – С. 1497-1507.
3. Ines A.V., Honda K., Gupta A.D., Droogers P., Clemente R.S. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agricultural water management*. – 2006. – Т. 83. – №. 3. – С. 221-232.
4. Feng Q., Liu J., Gong J. Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier – A case of Yuyao, China. *Water*. – 2015. – Т. 7. – №. 4. – С. 1437-1455.
5. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. *Water*. – 2018. – Т. 10. – №. 6. – С. 756.
6. Jain S. K., Singh V. P. *Water resources systems planning and management*. – Elsevier, 2003.
7. Jiang H., Feng M., Zhu Y., Lu N., Huang J., Xiao T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*. – 2014. – Т. 6. – №. 6. – С. 5067-5089.
8. Rundquist D.C., Lawson M.P., Queen L.P., Cerveny R.S. The relationship between summer-season rainfall events and lake-surface area. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. – 1987. – Т. 23. – №. 3. – С. 493-508.
9. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*. – 2007. – Т. 28. – №. 5. – С. 823-870.
10. Otukei J. R., Blaschke T. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2010. – Т. 12. – С. S27-S31.
11. Acharya T. D., Lee D. H., Yang I. T., Lee, J. K. Identification of water bodies in a Landsat 8 OLI image

- using a J48 decision tree //Sensors. – 2016. – Т. 16. – №. 7. – С. 1075.
12. Olthof I. Mapping seasonal inundation frequency (1985–2016) along the St-John River, New Brunswick, Canada using the Landsat archive. Remote Sensing. – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 143.
  13. Frazier P.S., Page K.J. Water body detection and delineation with Landsat TM data. Photogrammetric engineering and remote sensing. – 2000. – Т. 66. – №. 12. – С. 1461-1468.
  14. Bastiaanssen W. G. M. et al. Remote sensing in water resources management: The state of the art. – International Water Management Institute, 1998.
  15. Nageswara Rao P. P., Mohankumar A. Cropland inventory in the command area of Krishnarajasagar project using satellite data. Remote sensing. – 1994. – Т. 15. – №. 6. – С. 1295-1305.
  16. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing. – 1996. – Т. 17. – №. 7. – С. 1425-1432.
  17. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International journal of remote sensing. – 2006. – Т. 27. – №. 14. – С. 3025-3033.
  18. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt, R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. – 2014. – Т. 140. – С. 23-35.
  19. Domenikiotis C., Dalezios N. R., Loukas A., Karteris M. Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. International Journal of Remote Sensing. – 2002. – Т. 23. – №. 20. – С. 4235-4246.
  20. Chen F., Chen X., Van de Voorde T., Roberts D., Jiang, H., Xu W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. Remote Sensing of Environment. – 2020. – Т. 242. – С. 111706.
  21. Li W., Du Z., Ling F., Zhou D., Wang H., Gui Y., Sun B., Zhang X. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. Remote Sensing. – 2013. – Т. 5. – №. 11. – С. 5530-5549.
  22. Du Z., Linghu B., Ling F., Li W., Tian W., Wang H. et al. Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin, China. Journal of Applied Remote Sensing. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 063609.
  23. Pan F., Xi X., Wang C. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using Landsat imagery. Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 10. – С. 1611.
  24. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini, S. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. Remote sensing. – 2014. – Т. 6. – №. 5. – С. 4173-4189.
  25. Huang C., Zan X., Yang X., Zhang S. Surface water change detection using change vector analysis. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2016. – С. 2834-2837.
  26. G. Shao, L. Tang, H. Zhang Introducing Image Classification Efficacies IEEE Access, 9 (2021), pp. 134809-134816, 10.1109/ACCESS.2021.3116526
  27. EO Browser. Apps.sentinel-hub.com URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата звернення 10.01.2022)
  28. EarthExplorer. Earthexplorer.usgs.gov. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення 10.01.2022)
  29. OneGeology. Portal.onegeology.org URL: <http://portal.onegeology.org/> (дата звернення 10.01.2022)
  30. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System. Qgis.org. URL: <https://www.qgis.org> (дата звернення 10.01.2022)
  31. Giovanni. The Bridge Between Data and Science. Giovanni.gsfc.nasa.gov. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> (дата звернення 10.01.2022).
- Krytska Y.O., Biloborodova T.O. Geospatial images processing and analysis for remote surface water monitoring**
- Surface water is an important natural resource and plays an important role in many aspects of human life such as drinking water, agriculture, electricity production, transport and industry. Surface water changes influence on other natural resources and environment. Effective assessment of surface water dynamics is an important part of surface water monitoring. Recent research is often used methods based on geospatial images. The paper presents a study on methods, approaches and accuracy measures for remote surface water monitoring based on geospatial image processing and analysis. The stages of surface water monitoring based on geospatial images are defined and formalized. Image based methods of surface water monitoring are classified. These methods include methods based on spectral bands, supervised classification techniques based on machine learning methods, and unsupervised classification techniques based on water indexes. Issues of surface waters spatial-temporal analysis and accuracy measures are considered. The key measure of accuracy assessment is an overall accuracy of surface water extraction. Using of specific accuracy measure set such as producer's accuracy, user's accuracy, F-score and MICE coefficient can help to improve reliability of analysis assessment. The study on surface water monitoring based on water index is presented. The studying object is defined the lake Pishchane, Luhansk region, Ukraine in period of the spring flood in 2018-2019. The study on Pishchane surface water monitoring was based on the water index using normalized difference wetness index. Variabilities of color bands threshold is defined and improved for effective water and ground differentiation. Geospatial image analysis was evaluate using histogram. The study helps to defined a significant dependence of the method on the surface water extraction using normalized difference wetness index. We defined the clouds, fog, smog or temperature inversion on geospatial images can make water surface extraction worse. Therefore, atmospheric correction of satellite data to the L2A processing level is necessary.*
- Keywords:** *surfaces water monitoring, water index, normalized difference wetness index, geospatial images classification*
- Критська Яна Олександрівна** – д.ф., доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: [kritskayana@gmail.com](mailto:kritskayana@gmail.com)
- Білобородова Тетяна Олександрівна** – к.т.н., доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, e-mail: [beloborodova.t@gmail.com](mailto:beloborodova.t@gmail.com)