

УДК 628.194

БУЛГАКОВ Є. С. *, БЕЗУГЛА П. М., САФОНЕНКО В. А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ГІС-ОРІЄНТОВАНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ТЕПЛОВИХ КАРТ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДО ЩІЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ ПОСТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ЧАСОВОЇ НЕСИНХРОННОСТІ ВІДБОРІВ ПРОБ

Розглянуто спроможність чинної мережі державного моніторингу поверхневих вод до відтворення просторово-часової неоднорідності гідрохімічних показників у межах київської ділянки басейну Дніпра за умов місячної періодичності, несинхронності дат відбору та пропусків даних у частині створів. Об'єктом дослідження є р. Дніпро та пригірлові ділянки приток у межах м. Київ. Метою є апробація відтворюваного ГІС-орієнтованого підходу стрес-тестування моніторингової мережі на основі порівняння сценаріїв її щільності та часової прив'язки вимірювань. Використано власні лабораторні визначення розчиненого кисню (метод Вінклера), сульфат-іонів (турбідиметрія) і хлорид-іонів (метод Мора) у 11 точках (8 офіційних та 3 проміжних) у дві дати (13.12.2025 і 25.01.2026) та зіставлено їх із найближчими у часі та просторі наявними офіційними даними Державного агентства водних ресурсів. Побудовано теплові карти та оцінено чутливість просторових висновків до виключення проміжних точок, пропусків у вузлових створах, часових зсувів між серіями. Показано, що несинхронний місячний відбір і розріджена мережа пунктів спостережень призводять до згладжування полів концентрацій розчинених речовин і потенційного пропуску локальних пікових концентрацій; найбільша мінливість показників встановлена для розчиненого кисню. Практично обґрунтовано пріоритизацію уцілення постів спостережень і підвищення частоти відбору проб у зазначених вузлах річкової системи.

Ключові слова: геоінформаційна система, теплові карти, частота відбору, пропуски даних, гідрохімічні показники, мережа пунктів спостережень

DOI: 10.20535/2617-9741.1.2026.356010

* Corresponding author: yevhenii.bulhakov97@gmail.com

Received 06 January 2026; Accepted 19 February 2026

Постановка проблеми. Визначається дисбалансом між доступністю даних моніторингу для різних компонентів довкілля та наслідками цього дисбалансу для управління ризиками. Для атмосферного повітря в м. Київ дані якості повітря збираються та публікуються у режимі, наближеному до реального часу: функціонують десятки точок спостережень (у тому числі мережі низьковартісних IoT сенсорів), а результати відображаються на численних веб-ресурсах, що забезпечує високу часову роздільність, оперативне виявлення небезпечних епізодів і можливість швидкого інформування населення. Натомість для гідросфери подібна оперативна інфраструктура практично відсутня: спостереження за якістю поверхневих вод у межах київської ділянки басейну Дніпра фактично зосереджені в системі державного моніторингу Державного агентства водних ресурсів України, де кількість постів спостереження є обмеженою, відбір проб здійснюється з низькою частотою (переважно раз на місяць), а календарні дні відбору в межах одного періоду не є синхронізованими між створами; додатково наявні пропуски даних навіть за частиною і без того нечисельних пунктів спостережень. За таких умов просторово-часова мінливість гідрохімічних показників у міській водній системі може відобразитися як згладжений «фон», тоді як короточасні пікові стани або локальні аномалії (особливо в зонах змішування водних мас, впливу міської інфраструктури та пригірлових ділянках приток) потенційно залишаються непоміченими між плановими відборами, що ускладнює своєчасне виявлення небезпечних ситуацій і обґрунтування рішень щодо оптимізації мережі моніторингу та пріоритетів природоохоронних заходів.

Аналіз попередніх досліджень. Проблематика проектування та розвитку програм моніторингу якості води розглядається як необхідна передумова доказового управління водними ресурсами, але водночас як контекстно залежна інженерно-наукова задача, для якої не існує універсальної «єдиної» стратегії, придатної для всіх басейнів і регуляторних режимів [1]. У сучасних публікаціях підкреслюється, що в умовах зростання інформаційних потреб (зокрема в урбанізованих басейнах) особливої актуальності набувають кількісні

підходи, які узгоджують вибір локацій, набори показників і частоти вимірювань вмісту розчинених речовин у воді з цілями оптимізації та технічними можливостями моніторингу [2]. Методологічно важливим елементом такої постановки є розрізнення цілей моніторингу й оцінювання середніх показників у просторі-часі від задач «зрізу стану» та картографування, для яких синхронність значень у просторі-часі є принципово значущою, тоді як несинхронні схеми дизайну моніторингової системи можуть систематично зрушувати інтерпретацію просторових закономірностей [3]. Окремо показано, що частота спостережень безпосередньо визначає здатність моніторингової мережі фіксувати короточасні епізоди підвищення концентрацій розчинених речовин та відтворювати динаміку параметрів, а отже впливає на невизначеність інтерпретації даних та надійність висновків в управлінні ризиками [4]. Практичні зіставлення низькочастотних (наприклад, щомісячних) відборів проб із високочастотними серіями в малих періурбаних річках демонструють, що події гідрологічні збурення (зокрема дощові події та пов'язана з ними ресуспензія) здатні породжувати швидкі зміни кисневого режиму й інші короточасні ефекти, які можуть бути не відображені низькочастотним графіком [5]. Разом з тим сучасні підходи диференціюють ефект підвищення частоти відбору проб за типами досліджуваних показників і пропонують, поряд із постійним сенсорним покриттям, короткотермінові онлайн-рішення як інструмент підвищення ймовірності фіксації екстремумів концентрацій та добової мінливості для мінливих параметрів на кшталт розчиненого кисню [6]. Паралельно розвиваються рамки оптимізації просторової конфігурації мереж на основі часової та просторової статистики історичних рядів із використанням методів кластеризації та машинного навчання для зменшення надлишкової кількості датчиків та витрати ресурсів, з одночасним збереженням репрезентативності отриманих даних [7]. Для переходу від дискретних і нерівномірних у просторі-часі спостережень до карт стану водних ресурсів і просторово-часових полів застосовуються закономірні та статистичні інтерполяційні процедури. Однак, слід зауважити, що згладжування може по-різному впливати на повільнозмінні та швидкозмінні показники, що безпосередньо пов'язано з видимістю коротких піків [8]. Окремим методичним викликом є неповнота екологічних даних, оскільки пропуски та нерегулярність спостережень здатні спричинити зміщення оцінок індексів і, відповідно, висновків [9]. У контексті міста Києва нормативна рамка державного моніторингу вод фіксує програмний підхід до визначення показників якості води і періодичності цієї процедури, зокрема передбачає встановлення інтервалів спостережень за фізико-хімічними показниками якості поверхневих вод [10]. Водночас відкриті дані державного моніторингу поверхневих вод містять первинні спостереження в розрізі постів і дат відбору проб та включають основні показники, зокрема розчинений кисень, сульфат- і хлорид-іони. Це створює можливість використання офіційної інформації як референтної рамки для кількісного аналізу чутливості просторових висновків до щільності мережі, пропусків досліджень і часової несинхронності вимірювань [11]. З огляду на наведені напрями попередніх досліджень, невирішеною частиною наукової проблеми залишається розробка відтворюваної оцінки того, як саме комбінація щільності постів спостережень, пропусків в отриманих даних та несинхронності часу відбору проб змінює результати ГІС-картографування просторової неоднорідності на рівні конкретного урбанізованого річкового відрізка. У рамках цієї логіки у статті розглядається стійкість теплових карт як об'єкт кількісної перевірки, що пов'язує її з ризиком пропуску короточасних пікових станів водних ресурсів для показників з різною динамічністю.

Метою дослідження є розробка та апробація відтворюваного ГІС-орієнтованого підходу до кількісної оцінки спроможності наявної мережі моніторингу водних ресурсів адекватно відображати просторово-часову неоднорідність показників якості води в межах київської ділянки басейну Дніпра в умовах місячної періодичності, несинхронності відборів і пропусків даних у частині створів. У процесі дослідження передбачається отримати науковий результат у вигляді оцінки чутливості теплових карт і висновків щодо зон підвищення або зниження концентрацій розчинених речовин до щільності мережі, наявності пропусків і часової прив'язки вимірювань. Також у роботі планується визначити показники та ділянки, для яких ймовірність пропуску короточасних пікових станів є найбільшою, на основі чого встановити першочерговість ущільнення мережі та підвищення частоти спостережень.

Відповідно до мети роботи вирішувались наступні завдання:

1. Встановити часову та просторову мінливість вмісту розчинених речовин у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ.
2. Дослідити відмінності між тепловими картами, побудованими на основі мереж із різною щільністю постів спостережень та інтервалом відбору проб.
3. Встановити ділянки р. Дніпро, що містять найвищу ймовірність пропуску пікових значень вмісту розчинених речовин.

Методика роботи. Об'єктом дослідження у роботі були води річок Дніпро, Десна, Десенка, Либідь, відібрані відповідно до встановлених місць відбору (табл.1). Забір води для аналізу здійснювався у відповідності зі стандартом «ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків» [11]. Проби вод відбиралися двічі протягом зими грудень 2025 р. та січень 2026 р.

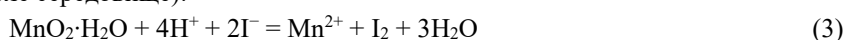
У відібраних пробах визначали такі показники, як: розчинений кисень, хлориди та сульфати [12].

За методом Вінклера розчинений кисень кількісно реагує зі свіжоосадженим гідроокисом марганцю (II). При підкисленні сполука марганцю більш високої валентності вивільняє йод з розчину йодиду в еквівалентних кисню кількостях. Йод, що виділився, відтитровується розчином тіосульфату натрію у присутності крохмалю. Хімізм аналітичного визначення концентрації розчиненого кисню у воді описано реакціями (1–5).

Стадія фіксації кисню (лужне середовище):



Йодометричне титрування (кисле середовище):

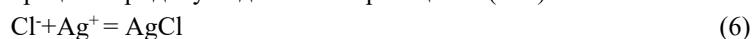


Масову концентрацію розчиненого кисню розраховують у мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$ за витратою титранту з урахуванням його концентрації та об'єму проби:

Сульфат-іони у воді визначали турбідиметричним методом. До проби в контрольованих умовах додавали розчин хлориду барію для утворення малорозчинного осаду сульфату барію (BaSO_4), після чого вимірювали інтенсивність помутніння (оптичну густину суспензії) на фотоелектроколометрі. Концентрацію сульфат-іонів у мг/дм³ визначали за калібрувальною залежністю, побудованою за стандартними розчинами.

Хлорид-іони у воді визначали аргентометричним титруванням розчином нітрату срібла з хроматним індикатором за методом Мора. Пробу титрували AgNO_3 до повного осадження хлорид-іонів у вигляді AgCl . Кінцеву точку фіксували за появою стійкого цегляно-червоного забарвлення осаду хромату срібла (Ag_2CrO_4). Масову концентрацію хлорид-іонів у мг/дм³ розраховували за витратою титранту та його концентрацією з урахуванням об'єму проби.

Хімізм аналітичного визначення концентрації хлоридів у воді описано реакціями (6–7).



Офіційна статистика вибиралася з даних моніторингових спостережень Державного агентства водних ресурсів України (ДАВР) [13] за період 08.12.2025–12.01.2026 та 12.01.2026–10.02.2026.

Для побудови карт використовувалося геоінформаційне програмне забезпечення QGIS, яке дозволяє приєднувати табличні дані до полігонального шару областей та виконувати тематичне картографування з обраними схемами класифікації та колірними шкалами.

Виклад основного матеріалу. Польовий етап дослідження було розпочато з відбору проб поверхневих вод у басейні Дніпра в межах м. Київ та на прилеглих водотоках у безпосередній близькості до пунктів спостережень Державного агентства водних ресурсів України (ДАВР) [13], а також у додатково заданих проміжних точках з метою підвищення просторової роздільності оцінювання. Просторову схему відбору сформовано як сукупність 11 точок, нанесених на картографічну основу. У подальших матеріалах та тематичних картах ці точки ідентифікуються сталою нумерацією, наведеною в таблиці переліку постів (табл. 1). До офіційної мережі ДАВР віднесено точки 1–8, які охоплюють ділянку Дніпра в районі м. Вишгород (питний водозабір), ділянки Дніпра в межах Києва (зокрема район північного мосту та Гідропарку), контрольні створи в зоні впливу міської інфраструктури (у тому числі технічний водозабір ТЕЦ-5), а також пригирлові ділянки приток і рукавів (р. Десна, р. Десенка, р. Либідь) та нижче за течією в межах Канівського водосховища. Для уточнення просторових переходів між офіційними створами додатково відібрано проби в трьох проміжних точках 11–13 на руслі Дніпра в межах міста (зокрема в районі пішохідного мосту-хвилі, річкового вокзалу та острова Водників), що дозволяє порівнювати результати за сценаріями «базова мережа» та «ущільнена мережа». Під час підготовки до зіставлення отриманих в ході дослідження даних з офіційними даними ДАВР встановлено, що в архіві ДАВР відсутні дані моніторингу для пунктів 3, 4 і 6. Тому для цих

локацій пряме порівняння з історичними значеннями в межах заявлених показників неможливе. Зазначена неповнота мережі врахована як обмеження даних, і надалі розглядається як фактор, що потенційно впливає на інтерпретацію просторових відмінностей та потребує перевірки чутливості висновків до пропусків у спостереженнях.

Таблиця 1 – Нумерація точок відбору проб води

Пост	Номер посту
р. Дніпро, 897 км, м.Вишгород, н/б Київської ГЕС, питний водозабір м.Київ	1
р. Десна, 3 км, м.Київ, Деснянський водозабір	2
р. Дніпро, 0 км, м. Київ, Північний міст (парк Наталка)	3
р. Десенка, 0 км, м. Київ	4
р. Дніпро, Пішохідний міст-хвиля	11
р. Дніпро, Річковий вокзал	12
р. Дніпро, 870 км, м.Київ, Гідропарк, лівий берег	5
р. Дніпро, 867 км, м. Київ, Південний Ковш, техн в/з ТЕЦ-5	6
р. Либідь, 0 км, м.Київ, гирло, м. Київ	7
р. Дніпро, острів Водників	13
р. Дніпро, 855,5 км, 500 м вище БСА, (Канівське водосховище)	8

Результати досліджень. Відбір проб поверхневих вод річок виконано двічі: 13.12.2025 та 25.01.2026., з метою зіставлення отриманих значень із щомісячними даними офіційного моніторингу та подальшого оцінювання варіації показників у межах тієї самої просторової схеми відбору. Для кожної дати проби відібрано в 11 точках, просторово прив'язаних до русла р. Дніпро та пригирлових ділянок прилеглих водотоків у межах м. Київ (табл. 1). Результати лабораторного визначення розчиненого кисню, сульфатів та хлоридів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Вміст розчинених речовин у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за результатами лабораторних досліджень

Номер посту	Дата	[O ₂], мгО ₂ /дм ³	[SO ₄ ²⁻], мг/дм ³	[Cl ⁻], мг/дм ³
1	13.12.2025	10,4	31,9	26,98
2	13.12.2025	9,9	35,5	17,82
3	13.12.2025	9,7	36,4	17,64
4	13.12.2025	8,6	21,1	16,98
11	13.12.2025	8,4	20,4	16,84
12	13.12.2025	8,3	29,6	18,24
5	13.12.2025	14,7	25,1	23,15
6	13.12.2025	11,2	72,1	25,12
7	13.12.2025	11,4	65,4	164,81
13	13.12.2025	12,6	44,2	101,22
8	13.12.2025	13,4	34,3	27,14
1	25.01.2026	7,24	42,20	26,92
2	25.01.2026	11,30	28,50	15,12
3	25.01.2026	8,20	29,10	15,70
4	25.01.2026	7,80	20,60	15,94
11	25.01.2026	7,60	20,20	16,47
12	25.01.2026	7,50	44,30	21,55
5	25.01.2026	7,50	41,20	22,31
6	25.01.2026	7,30	68,60	22,17
7	25.01.2026	6,90	74,20	148,52
13	25.01.2026	6,80	51,50	84,37
8	25.01.2026	7,70	37,50	22,96

Найближчими до дат власного відбору проб періодами, в які ДАВР проводило відбір у відповідних створах, виявилися інтервали 08.12.2025–12.01.2026 та 12.01.2026–10.02.2026. При цьому встановлено, що календарні дні відбору не збігаються з датами власних вимірювань та навіть між собою. Для окремих постів у ДАВР наявні значення на початку грудня 2025 року (02.12, 08.12, 10.12), на початку/середині січня 2026 року (12.01, 19.01, 27.01) та на початку лютого 2026 року (10.02) (табл. 3). У доступних даних ДАВР за відповідний період зафіксовано вимірювання для частини створів, що перетинаються з прийнятою в роботі схемою: р. Дніпро (м. Вишгород, питний водозабір), р. Десна (Деснянський водозабір), р. Дніпро (Гідропарк, лівий берег), р. Либідь (гирло), р. Дніпро (вище БСА, Канівське водосховище). Отже, зіставлення власних результатів з результатами офіційного моніторингу можливе лише як порівняння з найближчими за часом вимірюваннями, що передбачає додаткове допущення про відносну стабільність показників у межах дослідного інтервалу.

Таблиця 3 – Вміст розчинених речовин у р. Дніпро та пригирлових ділянок прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР

Номер посту	Дата	[O ₂], мгО ₂ /дм ³	[SO ₄ ²⁻], мг/дм ³	[Cl ⁻], мг/дм ³
1	02.12.2025	10,20	32,50	27,03
1	12.01.2026	9,80	33,65	25,62
2	12.01.2026	9,80	36,80	17,23
2	10.02.2026	8,20	36,00	16,88
5	08.12.2025	14,40	25,20	24,92
5	19.01.2026	10,80	39,85	24,97
7	08.12.2025	9,90	68,65	162,51
7	19.01.2026	8,00	76,16	127,66
8	10.12.2025	13,50	34,40	26,32
8	27.01.2026	8,80	31,80	30,60

Порівняння власних лабораторних результатів із даними ДАВР виконано шляхом зіставлення значень у тих самих пунктах спостережень за принципом «найближчої доступної дати», оскільки календарні дні відбору проб не збігалися. Фактична різниця між датами становила від 2–3 діб до 30 діб залежно від поста. За малих часових інтервалів (3–11 діб) у створах Дніпра спостерігалася близькість значень, що узгоджується з припущенням про відносну інерційність іонного складу на окремих ділянках русла.

Разом з тим, за збільшення часової невідповідності та/або за умов підвищеної мінливості водних мас розбіжності між власними вимірюваннями та найближчими значеннями ДАВР ставали помітними і могли змінювати інтерпретацію просторової неоднорідності. Наприклад, для поста 5 (Гідропарк) при розриві 6 діб (25.01.2026 проти 19.01.2026) розчинений кисень зменшився з 10,8 до 7,5 мг О₂/дм³ за одночасного збільшення вмісту сульфат-іонів з 39,85 до 41,2 мг/дм³; для поста 1 (Вишгород) при розриві 13 діб (12.01.2026 та 25.01.2026) розчинений кисень становив 7,24 проти 9,8 мг О₂/дм³, а сульфат-іони відповідав значенням 42,2 проти 33,65 мг/дм³. Таким чином, навіть за зіставленням із «найближчими» датами офіційного моніторингу у низці випадків фіксуються відмінності, які за наявності нормативних порогів або порогів класифікації якості води потенційно можуть змінювати висновок щодо перевищення або не перевищення ГДК за певними показниками.

У межах спостережуваного набору показників найбільш мінливим виявився розчинений кисень, що підтверджується як напрямом, так і амплітудою відхилень від найближчих значень ДАВР у різних створах. Для поста 5 (Гідропарк) різниця вмісту розчиненого кисню становила – 3,3 мг О₂/дм³, для поста 1 (Вишгород) – 2,56 мг О₂/дм³, тоді як для поста 2 (Десна) розчинений кисень був вищим у відібраній на аналіз пробі. Така відмінність може пояснюватися тим, що концентрація розчиненого кисню є оперативним індикатором, чутливим до короткочасних змін температури, перемішування, окиснювальних процесів та гідродинаміки, тоді як іонний склад у багатьох випадках змінюється повільніше, але може демонструвати локальні стрибки при надходженні мінералізованих вод або у зонах змішування водних потоків.

Для іонних показників зафіксовано як випадки близькості, так і приклади, коли концентрації у власних лабораторних пробах були вищими за значення ДАВР у найближчі дати. Для сульфатів такі приклади спостерігалися на пості 1 (Вишгород) (42,2 мг/дм³ у власній пробі 25.01.2026 проти 33,65 мг/дм³ у ДАВР

12.01.2026), на пості 8 (Канівське водосховище) ($37,5 \text{ мг/дм}^3$ у власній пробі 25.01.2026 проти $31,8 \text{ мг/дм}^3$ у ДАВР 27.01.2026), а також на пості 5 (Гідропарк) ($41,2 \text{ мг/дм}^3$ у власній пробі 25.01.2026 проти $39,85 \text{ мг/дм}^3$ у ДАВР 19.01.2026).

Для хлоридів найбільш показовий приклад отримано у гирлі р. Либідь (пост 7): $148,52 \text{ мг/дм}^3$ у власній пробі 25.01.2026 проти $127,66 \text{ мг/дм}^3$ у ДАВР 19.01.2026, тобто різниця становила $20,86 \text{ мг/дм}^3$ при часовому інтервалі лише 6 діб.

Такі приклади є сумісними з двома класами пояснень: по-перше, з реальною міждатною мінливістю, обумовленою гідрологічними подіями, зміною режиму перемішування та епізодним надходженням більш мінералізованих вод; по-друге, з просторовою неоднорідністю в межах одного створу (поперечний профіль, прибережна зона, фронт змішування «притока–Дніпро») і чутливістю результату до точного місця відбору проби. Враховуючи, що офіційний моніторинг виконується з місячною періодичністю та покриває неповну мережу постів (а для частини створів у доступному архіві взагалі відсутні будь-які дані), отримані розбіжності інтерпретуються як емпірична підтримка основної ідеї дослідження: за недостатньої частоти спостережень і недостатньої щільності мережі ДАВР може не фіксувати короточасні пікові значення концентрацій, у тому числі локальні епізоди підвищення іонного складу або зміни кисневого режиму, що потенційно призводить до пропуску критичних ситуацій між двома плановими відборами та заниження оцінки просторової неоднорідності.

Порівняння теплових карт вмісту сульфат-іонів, побудованих за даними ДАВР за період 08.12.2025–12.01.2026 та за результатами власного відбору 13.12.2025, показало узгодженість загального просторового градієнта й одночасно виявило чутливість картографічних висновків до частоти/щільності спостережень і до способу часової прив'язки даних (рис. 1). На обох картах відтворюється підвищення рівня сульфат-іонів у південній частині міської ділянки водної системи з формуванням зони підвищених значень у районі постів 6–7–13, тоді як у центральній частині (ділянка 11–12–5) домінують нижчі та помірні значення. Водночас карта за даними ДАВР є більш «згладженою»: максимумами менш контрастні, а перехід від низьких до підвищених значень відбувається поступово, що узгоджується з тим, що офіційні значення для різних постів у межах одного інтервалу отримані в різні календарні дні (02.12, 08.12, 10.12 та 12.01), тобто фактично описують не одномоментний стан, а поєднання кількох часових зрізів.

За пунктами, де порівняння можливе безпосередньо, вузлові значення сульфат-іонів у власних пробах 13.12.2025 загалом відтворюють рівні ДАВР у найближчі дні грудня 2025 року. За цих умов принципова різниця між картами формується не стільки розбіжністю в «опорних» значеннях у спільних пунктах, скільки різною просторовою деталізацією та наявністю/відсутністю критично важливих вузлів для інтерполяції. Зокрема, у нашому наборі даних проведено вимірювання сульфатів в пості 6 (Південний Ковш, техн. водозабір ТЕЦ-5) із підвищеним значенням $72,1 \text{ мг/дм}^3$, тоді як для цього пункту в доступному архіві ДАВР дані відсутні. У результаті офіційна карта вимушено відновлює значення на цій ділянці переважно за рахунок просторового згладжування між сусідніми пунктами, що методично знижує контраст локального максимуму й може зміщувати межі зони підвищених значень. Додатково отримана нами схема включає проміжні точки 11 і 12 з відносно низькими значеннями ($20,4$ та $29,6 \text{ мг/дм}^3$ відповідно) і точки 3–4, які формують більш деталізований опис центральної ділянки русла. Включення таких «внутрішніх» опорних точок змінює форму ізоліній і робить просторову неоднорідність більш структурованою, тоді як за менш щільної мережі подібні локальні мінімальні/перехідні ділянки можуть бути згладжені та не виділятися як окремі просторові елементи.

Окремо слід відзначити, що на карті, побудованій за власними даними відображено суттєво ширший діапазон значень шкали (до $181,6 \text{ мг/дм}^3$) порівняно з картою ДАВР (до $86,86 \text{ мг/дм}^3$), що вимагає обережності при прямому порівнянні інтенсивності кольорів. За використання теплового картографування з ядровим згладжуванням підсумкове поле може відображати агрегований індикатор у межах радіуса впливу, а не точну інтерпольовану концентрацію, тому коректніше зіставляти положення відносних максимумів і конфігурацію градієнтів, а не абсолютні «пікові» значення растра. У сукупності порівняння двох карт підтверджує, що за місячної періодичності та неповноти мережі постів офіційна схема спостережень відтворює загальний фон, але може недооцінювати локальні максимуми та зміщувати межі зон підвищених концентрацій у місцях, де відсутні дані у ключових створах або де змішування водних мас відбувається на коротких просторових масштабах. Це є критичним саме для задач виявлення пікових значень та потенційних наближень до нормативних порогів.

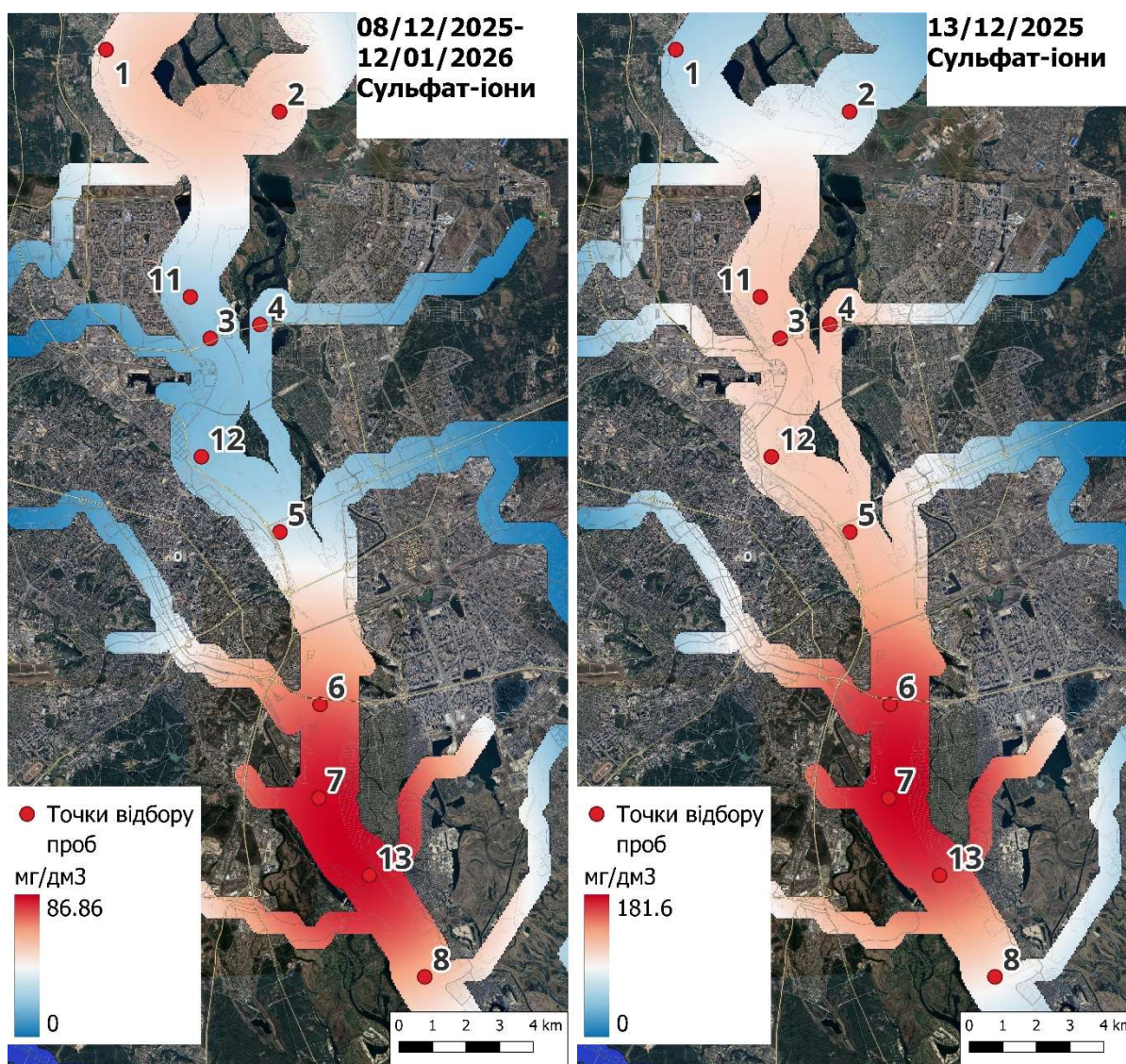


Рис. 1 – Теплові карти вмісту сульфат-іонів у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

Порівняння теплових карт концентрацій сульфат-іонів, побудованих за даними ДАВР за період 12.01.2026–10.02.2026 та за результатами власного відбору 25.01.2026, також показало збереження загальної просторової конфігурації поля (градієнт від нижчих значень у північній частині ділянки до підвищених у південній). Водночас дане порівняння виявило систематичні відмінності у контрастності та положенні меж «зони підвищення», які є чутливими до часової несинхронності вимірювань і до неповноти мережі опорних точок (рис. 2). Для карти ДАВР зазначений інтервал фактично об'єднує значення, отримані в різні календарні дні (зокрема 12.01, 19.01, 27.01 та 10.02 залежно від поста), тоді як карта, побудована на основі отриманих власних даних, відображає одномоментний зріз 25.01.2026. За таких умов офіційне поле є «комполітом» кількох часових станів і має тенденцію до просторового згладжування. Це проявляється в меншій частці ділянок із виражено «теплими» значеннями на офіційній карті та в більш плавних переходах між ізолініями, тоді як на карті на основі даних лабораторних вимірювань зона підвищених значень у південному секторі є більш протяжною та контрастною.

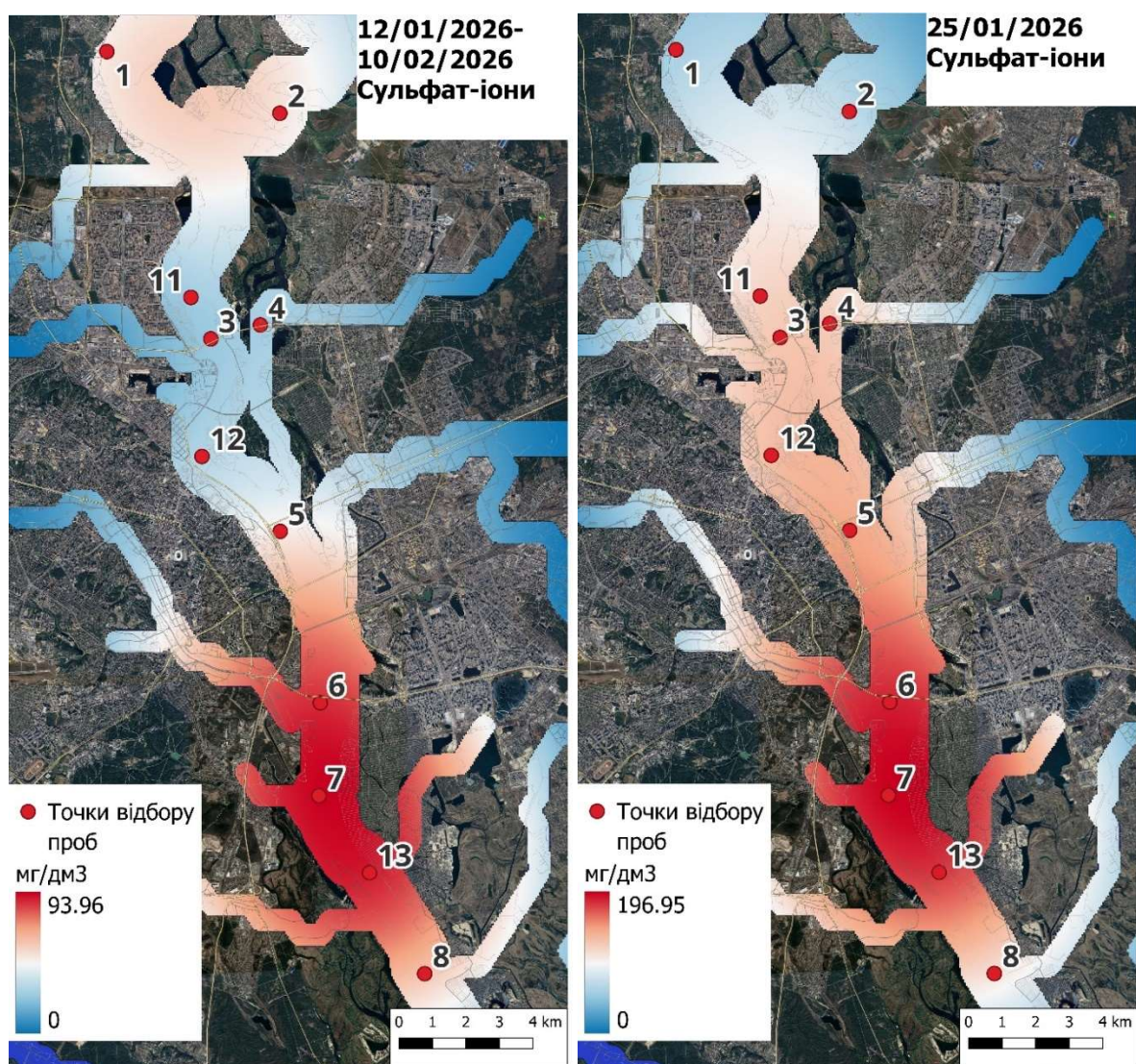


Рис. 2 – Теплові карти вмісту сульфат-іонів у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

На рівні опорних пунктів, для яких наявні вимірювання обох джерел у межах інтервалу ДАВР, зафіксовано як збіги, так і напрямні розходження, що безпосередньо впливають на форму інтерпольованого поля. Ці відмінності означають, що навіть за наявності близьких значень у частині створів форма поля може змінюватися через різноспрямовані відхилення на «вхідних» пунктах (північні створи) та через неоднакову часову відстань між відборами. Додатково, різниця між картами посилюється тим, що у доступному архіві ДАВР відсутні вимірювання для частини пунктів, які є методично важливими для відтворення просторових максимумів у міській ділянці (зокрема пост 6 та проміжні точки 11–13). В авторському наборі даних на 25.01.2026 в цих локаціях зафіксовано значення, які уточнюють структуру південного «вузла» підвищених концентрацій (наприклад, пост 6 (Південний Ковш, техн в/з ТЕЦ-5) – 68,6 мг/дм³; пост 13 (острів Водників) – 51,5 мг/дм³; точки 11 (Пішохідний міст-хвиля) і 4 (р. Десенка, 0 км) – близько 20–21 мг/дм³ як локальні мінімальні/перехідні значення). За відсутності таких опорних вимірювань офіційна інтерполяція неминує спиратися на обмежений набір створів і відновлює поле переважно через згладжування між сусідніми точками, що знижує контраст локальних максимумів і може зміщувати межі зони підвищених значень. У

контексті дослідницької гіпотези це означає, що при місячній періодичності та недостатній щільності мережі постів виявлення короткочасних «піків» і локальних підвищень (які мають значення для оцінки ризику наближення до нормативних порогів) є чутливим до пропусків у просторовому покритті та до того, що різні пункти в межах одного «періоду» відбираються в різні дні. Унаслідок цього теплові карти на основі даних ДАВР можуть коректно відтворювати фон, але бути менш здатними до фіксації локальних підвищень і різких просторових переходів, які проявляються при більш територіально щільних і синхронних вимірюваннях.

Порівняння теплових карт хлорид-іонів, сформованих за даними ДАВР для інтервалу 08.12.2025–12.01.2026 та за результатами власного відбору 13.12.2025, показало збіг базової просторової логіки поля і водночас продемонструвало, що деталізація мережі та часовий зсув відборів можуть істотно впливати на інтерпретацію «гарячих зон». В обох випадках відтворюється контраст між відносно низькими концентраціями у північній частині ділянки Дніпра та підвищеними значеннями в нижній/південній частині, асоційованими з гирлом р. Либідь (рис. 3).

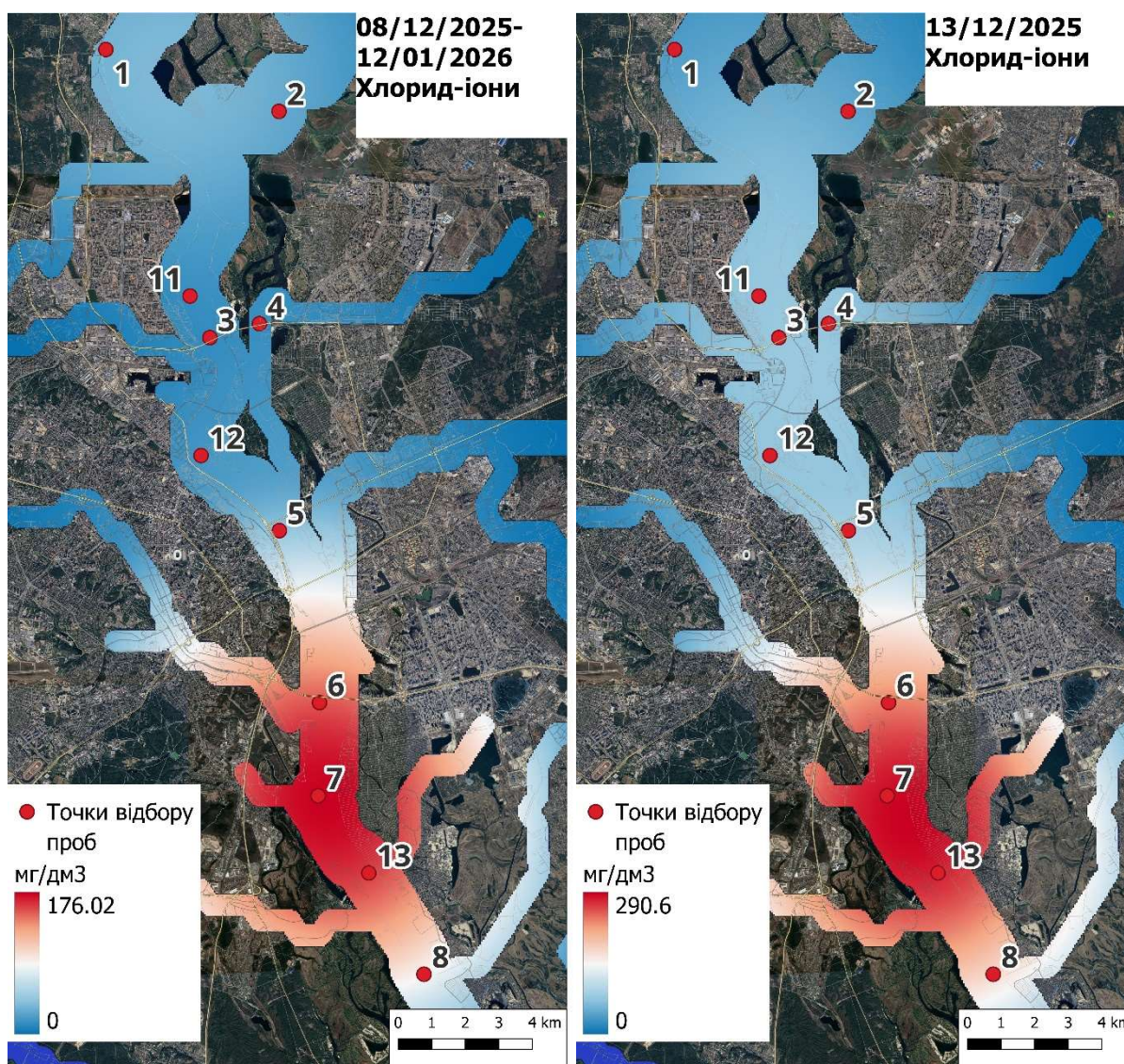


Рис. 3 – Теплові карти вмісту хлорид-іонів у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

На рівні опорних створів, для яких доступні близькі за часом значення ДАВР, власні лабораторні вимірювання 13.12.2025 практично відтворюють концентрації хлоридів для північних і центральних ділянок Дніпра: у пості 1 (Вишгород) отримано 26,98 мг/дм³ проти 27,03 мг/дм³ у ДАВР (02.12.2025), у пості 5 (Гідропарк) – 23,15 мг/дм³ проти 24,92 мг/дм³ у ДАВР (08.12.2025), у пості 8 (Канівське водосховище) – 27,14 мг/дм³ проти 26,32 мг/дм³ у ДАВР (10.12.2025). Для поста 7 (гирло Либеді) власне значення концентрації хлоридів 164,81 мг/дм³ є співставним із ДАВР 162,51 мг/дм³ (08.12.2025), що підтверджує стійкість просторового максимуму в цій локації за короткого часового інтервалу. Водночас теплова карта, що отримана на основі власних даних, фіксує додаткову структуру в нижній частині міської ділянки за рахунок проміжних точок, відсутніх у ДАВР як у мережі спостережень, зокрема, у точці 13 (острів Водників) отримано значення вмісту хлоридів 101,22 мг/дм³. За відсутності такого «внутрішнього» опорного вимірювання офіційна інтерполяція закономірно формує більш згладжене поле між постами 5–7–8 (Гідропарк–гирло Либеді–Канівське водосховище) і потенційно занижує протяжність зони підвищених значень вниз за течією від гирла Либеді.

Додатковою ознакою методичної чутливості є відмінність амплітуди на растрових картах (за шкалами легенд). Для карти ДАВР в обраному часовому інтервалі максимальне значення растра становить 176,02 мг/дм³, тоді як для власної карти 13.12.2025 – 290,6 мг/дм³. Такі розходження не слід трактувати як пряме порівняння абсолютних концентрацій у воді, оскільки теплове картографування з ядровим згладжуванням значною мірою залежить від параметрів побудови (радіус впливу, розмір пікселя, спосіб масштабування) і від щільності точок. Однак вони є індикатором того, що включення додаткових вимірювань збільшує контрастність просторового поля і змінює межі зон, які на карті інтерпретуються як потенційно проблемні.

Аналогічна закономірність спостерігається при зіставленні теплових карт для інтервалу ДАВР 12.01.2026–10.02.2026 та власних вимірювань 25.01.2026. Причому в цьому випадку розбіжності набувають більш прикладного змісту, оскільки в межах одного «офіційного періоду» значення в різних створах отримані в різні календарні дні (12.01, 19.01, 27.01, 10.02), тоді як власні дані є одномоментним зрізом. Для північних створів Дніпра та Десни у власних даних 25.01.2026 відтворюється фон низьких концентрацій: пост 1 (Вишгород) – 26,92 мг/дм³; пост 2 (Деснянський водозабір) – 15,12 мг/дм³. Однак для ключової «пікової» локації в гирлі Либеді (пост 7) зафіксовано суттєво вищий рівень, ніж у найближчій даті ДАВР у межах цього інтервалу: 148,52 мг/дм³ (25.01.2026) проти 127,66 мг/дм³ (19.01.2026). Тобто різниця становить 20,86 мг/дм³ за відрізка в часі лише 6 діб (рис. 4). Цей приклад є показовим у контексті основної гіпотези роботи, оскільки демонструє, що місячна періодичність і несинхронність відборів між створами можуть не фіксувати короткочасні підвищення, а отже потенційно «розмивати» оцінку пікових станів у межах міжвідборного інтервалу.

Додатково, як і для грудневого порівняння, власна схема відбору уточнює просторову структуру нижнього сектору за рахунок проміжних точок. Так, у точці 13 (острів Водників) отримано 84,37 мг/дм³, що підтримує на карті більш протяжну зону підвищених значень нижче поста 7 (гирло Либеді), тоді як без такої точки поле відновлюється переважно за рахунок згладжування між постами Дніпра і може недооцінювати локальні «язики» підвищеної мінералізації. За шкалами растрових карт контрастність у власному випадку також є вищою (максимум 254,62 мг/дм³ для 25.01.2026) порівняно з аналогічною картою для офіційного інтервалу (максимум 143,35 мг/дм³), що узгоджується з тим, що ущільнення мережі вимірювань і синхронний відбір підвищують чутливість картографування до локальних піків і різких просторових переходів. Сукупне порівняння вмісту хлоридів підтверджує, що за недостатньої щільності мережі та місячної періодичності спостережень офіційні теплові карти коректно відтворюють загальний фон і стабільні просторові максимуми. Проте офіційні теплові карти можуть недооцінювати інтенсивність і просторову протяжність локальних підвищень, а також пропускати короткочасні пікові значення між двома плановими відборами, що є критичним саме для задач виявлення потенційних наближень до нормативних порогів.

Порівняння теплових карт розчиненого кисню, сформованих за даними ДАВР для часових інтервалів 08.12.2025–12.01.2026 та 12.01.2026–10.02.2026, із відповідними одномоментними картами за результатами власних відборів 13.12.2025 і 25.01.2026 показало, що за однакової просторової основи висновки щодо «зон зниженого/підвищеного» кисневого режиму є суттєво чутливими до часової несинхронності відборів і до щільності мережі опорних точок. Для грудневого зіставлення (ДАВР 08.12.2025–12.01.2026 проти власних 13.12.2025) у створі 5 (Гідропарк) отримано близькі значення вмісту розчиненого кисню у воді (14,7 мг О₂/дм³ у власній пробі проти 14,4 мг О₂/дм³ у ДАВР (08.12.2025)), аналогічно у створі 8 (Канівське водосховище) 13,4 мг О₂/дм³ проти 13,5 мг О₂/дм³ у ДАВР (10.12.2025), а у створі 1 (Вишгород) 10,4 мг О₂/дм³ проти 10,2 мг О₂/дм³ у ДАВР (02.12.2025) (рис. 5).

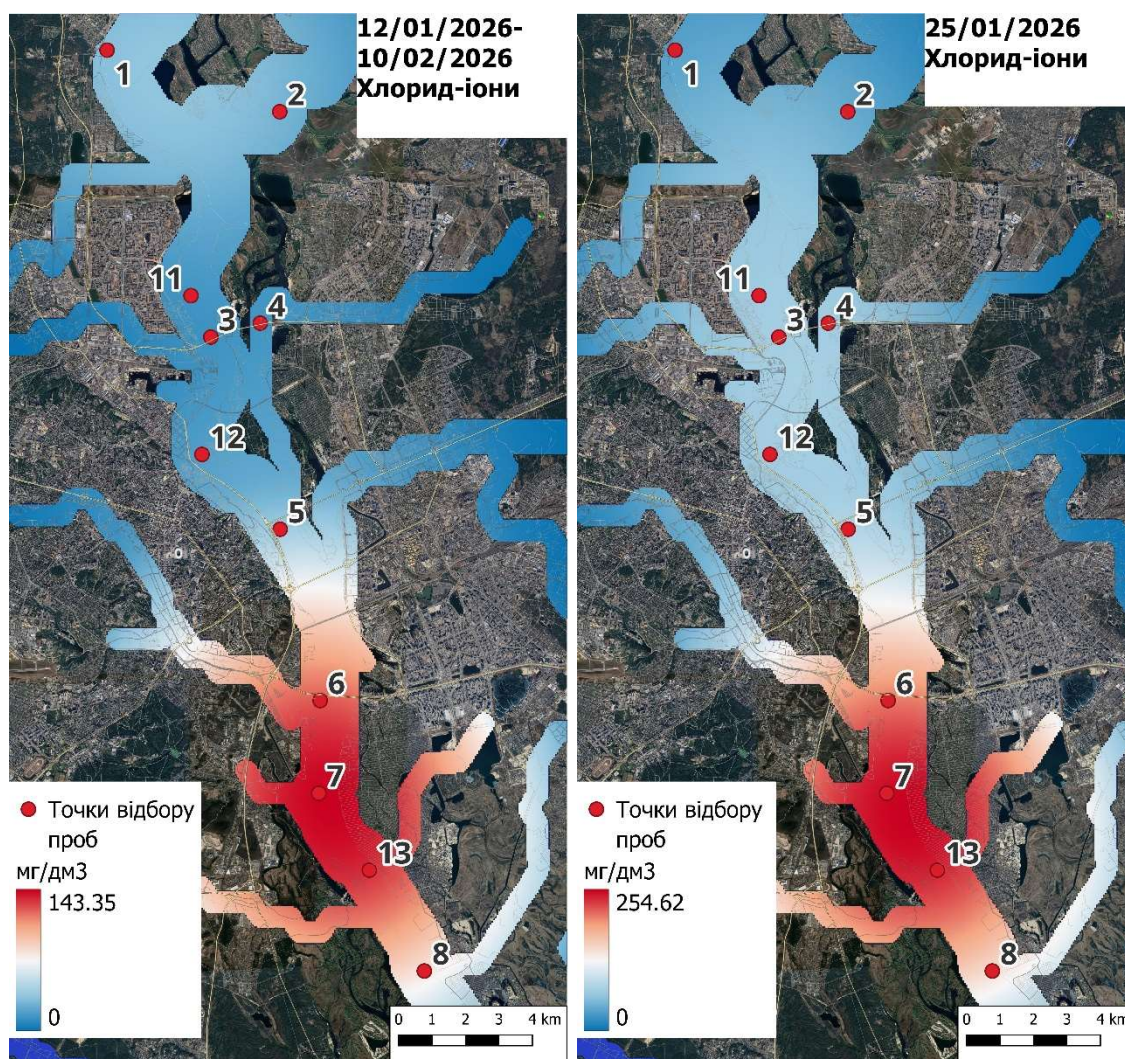


Рисунок 4 – теплові карти вмісту хлорид-іонів у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

За цих умов розбіжності між картами формуються насамперед через те, що поле ДАВР у межах одного «періоду» є композитом значень, отриманих у різні календарні дні, тоді як карта на основі власних лабораторних результатів відображає єдиний часовий зріз, а також через наявність у власній схемі проміжних точок відбору проб, відсутніх у ДАВР. Зокрема, лабораторні вимірювання у постах 11 (Пішохідний міст-хвиля) і 12 (Річковий вокзал) вказують на концентрації розчиненого кисню 8,4 та 8,3 мг O_2 /дм³ відповідно, а у точці 4 (р. Десенка, 0 км) значення вмісту розчиненого кисню становить 8,6 мг O_2 /дм³. Наведені результати формують локальний «пояс» знижених значень у центральній частині ділянки, який не може бути відтворений офіційною картою за відсутності опорних вимірювань у цих місцях і тому візуально згладжується інтерполяцією між створами з вищими значеннями. Для пригирлової ділянки р. Либідь (пост 7) вже за різниці дат 5 діб зафіксовано помітну різницю у концентраціях розчинного кисню (11,4 мг O_2 /дм³ у власній пробі (13.12.2025) проти 9,9 мг O_2 /дм³ у ДАВР (08.12.2025)). Це узгоджує припущення про підвищену короточасну мінливість кисневого режиму в зонах змішування та антропогенного впливу. При цьому відмінності між «піковими» значеннями на растрових теплових картах (за легендами: до 19,32 мг O_2 /дм³ для карти ДАВР і до 41,89 мг O_2 /дм³ для карти на основі власних даних) знову ж не слід інтерпретувати як безпосередню різницю у виміряних концентраціях, а як результат стандартизації параметрів побудови теплової карти за змінної кількості точок. Коректним є зіставлення конфігурації градієнтів і наявності/відсутності локальних мінімумів, які визначаються саме опорними вимірюваннями.

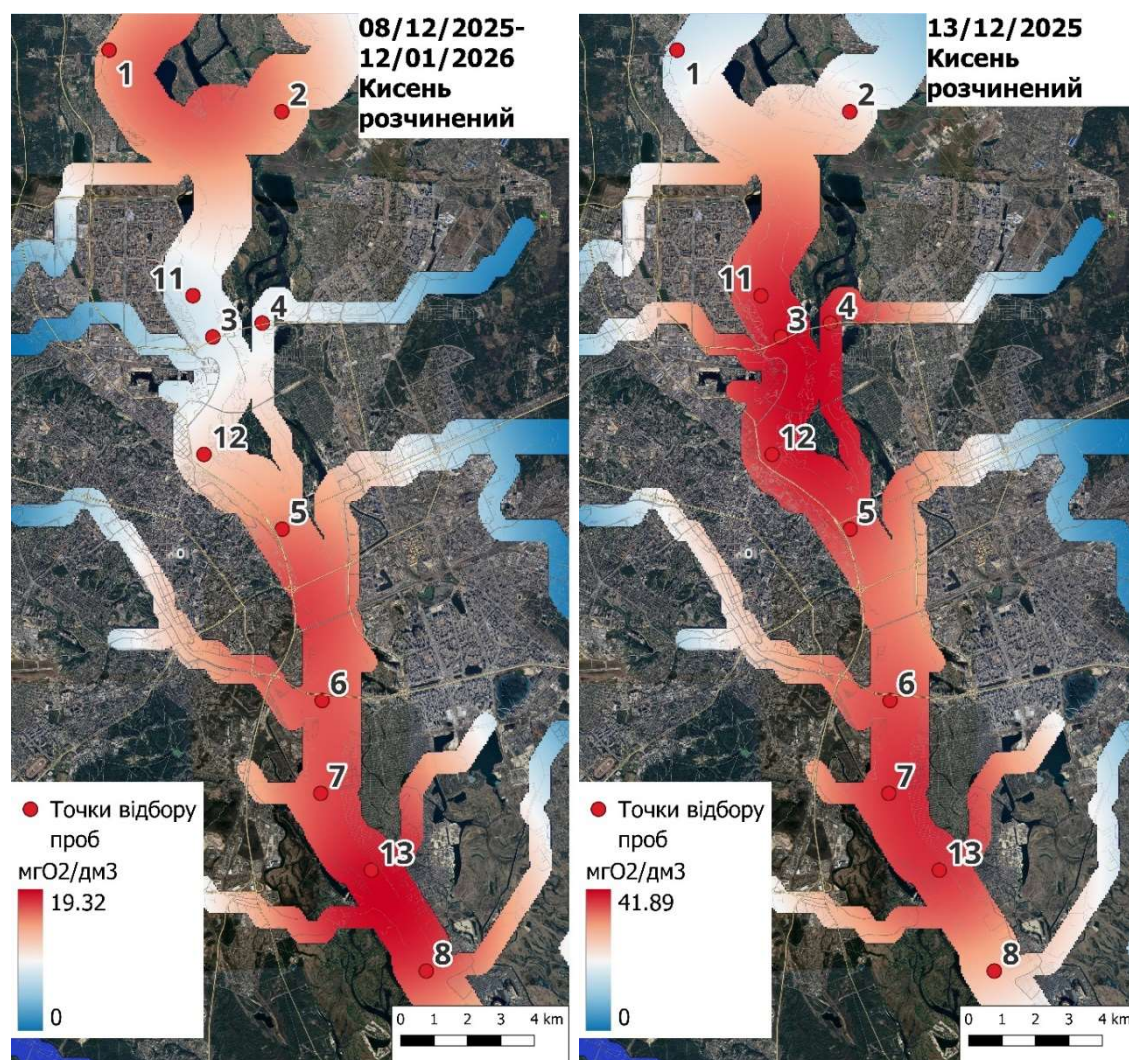


Рисунок 5 – Теплові карти вмісту розчиненого кисню у р. Дніпро та пригірлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

Для січневого зіставлення (ДАВР 12.01.2026–10.02.2026 проти власних 25.01.2026) розбіжності між картами проявляються більш виразно і підтверджують, що розчинений кисень є найбільш мінливим показником у розглянутому наборі (рис. 6). На ключових створах Дніпра у власних вимірюваннях зафіксовано нижчі його значення порівняно з найближчими датами ДАВР. Одночасно для Десни (пост 2) отримано протилежний напрямок відхилення: 11,3 мг О₂/дм³ у власній пробі (25.01.2026) проти 9,8 мг О₂/дм³ у ДАВР (12.01.2026) (+1,5 мг О₂/дм³). Це вказує на те, що навіть у межах одного місяця напрямок зміни кисневого режиму може відрізнитися у різних водотоках і не зводиться до єдиного «сезонного» тренду.

Додатково власна схема відбору, завдяки точкам 11–12–13 (Пішохідний міст-хвиля–Річковий вокзал–острів Водників), фіксує зниження вмісту розчиненого кисню в центральній-південній частині ділянки до 7,6–7,5–6,8 мг О₂/дм³ відповідно переліку постів. У ДАВР для цих локацій опорні значення відсутні, що зумовлює більш однорідне поле на тепловій карті, побудованій за офіційними даними ДАВР. Таким чином, зіставлення теплових карт розчиненого кисню підтверджує, що при місячній періодичності та несинхронному відборі в різних створах офіційні карти переважно відтворюють фон, однак можуть недооцінювати локальні та короточасні зниження кисню між двома плановими відборами. Це безпосередньо впливає на задачі виявлення епізодів погіршення якості води та обґрунтовує необхідність ущільнення мережі постів і підвищення частоти спостережень саме для показників, що характеризуються високою оперативною мінливістю.

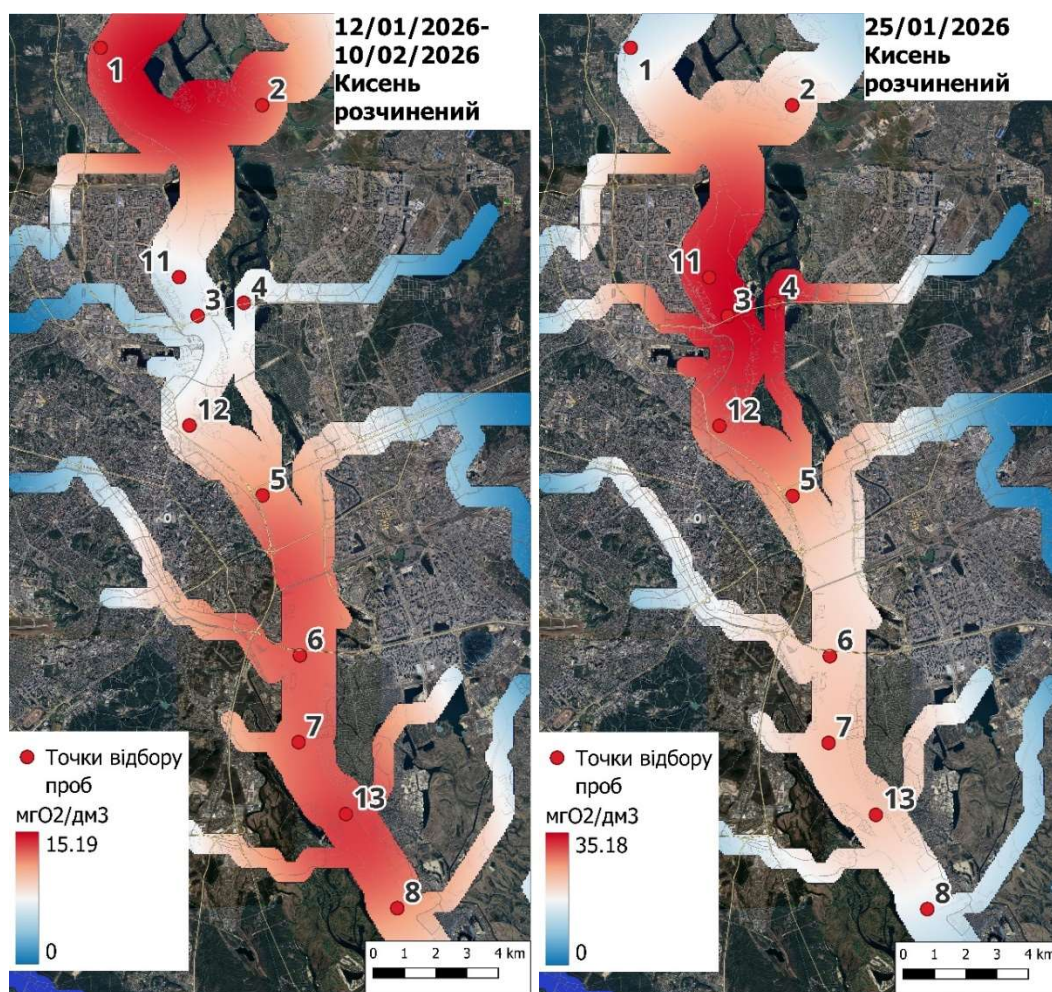


Рисунок 6 – Теплові карти вмісту розчиненого кисню у р. Дніпро та пригирлових ділянках прилеглих водотоків у межах м. Київ за даними ДАВР (ліворуч) та власними вимірюваннями (праворуч)

Висновки за результатами виконаного дослідження свідчать, що запропонована схема спільного використання офіційних даних ДАВР і власних синхронних вимірювань із ущільненням просторової мережі дозволяє виявляти як загальні градієнти якості води в межах київської ділянки басейну Дніпра, так і локальні відхилення, які можуть залишатися непоміченими за умов місячної періодичності та неповноти ствірної мережі.

Показано, що за малих часових інтервалів між датами відбору (3–11 діб) значення у створах Дніпра для іонних показників і розчиненого кисню часто є близькими, однак за збільшення часової невідповідності та в гідродинамічно складних ділянках (пригирлові зони, локальні затоки, ділянки інтенсивного антропогенного впливу) різниця між найближчими значеннями офіційних джерел та лабораторними пробами стає помітною і потенційно змінює картографічну інтерпретацію просторової неоднорідності.

Встановлено, що найбільшу оперативну мінливість у розглянутому наборі показників демонструє розчинений кисень. У межах одного дослідного періоду при різниці дат у кілька діб фіксувалися помітні зміни вмісту розчиненого кисню у ключових створах Дніпра, тоді як іонний склад зазвичай є інерційнішим, але може проявляти локальні підвищення, особливо в зонах змішування водних мас.

Виявлено випадки, коли в пробах води, що аналізувалися самостійно, концентрації сульфатів і хлоридів перевищували найближчі доступні значення ДАВР у тих самих пунктах відбору проб.

Показано, що теплові карти, побудовані на основі офіційних даних ДАВР, відтворюють загальний фон і базові просторові градієнти. Однак за відсутності даних у частині пунктів спостереження та за відсутності достатньої кількості проміжних точок вимірювання інтерпольоване поле має тенденцію до згладжування, що може зменшувати контраст локальних максимумів та мінімумів концентрацій і зміщувати межі зон підвищених концентрацій.

Практичний висновок полягає в тому, що за поточної частоти спостережень (раз на місяць) і недостатньої щільності мережі постів офіційний моніторинг може пропускати короточасні пікові значення і, відповідно, потенційні епізоди наближення до нормативних порогів або їх перевищення. Цей ризик є найбільш суттєвим для показників із високою оперативною мінливістю (розчинений кисень) та для локально зумовлених іонних аномалій, зокрема в пригирлових ділянках приток.

Найвища ймовірність пропуску короточасних пікових станів встановлена для південної міської ділянки Дніпра в зоні впливу міської інфраструктури та змішування водних мас – на відрізку від поста 5 (Гідропарк) вздовж поста 6 (Південний Ковш, техн. в/з ТЕЦ-5) до поста 7 (гирло р. Либідь) і далі в районі поста 13 (острів Водників). Аналогічно і для центрального відрізка між постами 3–4 (Північний міст–р. Десенка, 0 км) та проміжними точками 11–12 (Пішохідний міст-хвиля–Річковий вокзал), де наявні локальні контрасти показників і одночасно відсутні або недостатні дані офіційних спостережень.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку пов'язані з методичною формалізацією внутрішньої перевірки та переходом від разових зіставлень до керованого експерименту з оцінкою чутливості результатів до рішень моніторингового дизайну. Доцільним є розширення часової частоти власних відборів у межах одного місяця, наприклад, щотижня або подією після опадів або змін рівня води для кількісної оцінки внутрішньомісячної варіації та ймовірності пропуску піків при місячному моніторингу. Потребує реалізації сценарний аналіз впливу щільності мережі постів на картографічні висновки: порівняння полів, отриманих за підмножинами точок, із розрахунком метрик розбіжності для кожного показника. Окремим напрямом подальших досліджень є стандартизація параметрів побудови теплових карт (радіус впливу, тип ядра, метод масштабування) та перевірка того, як зміна цих налаштувань впливає на видимість локальних аномалій. Без такої перевірки порівняння інтенсивності кольору між картами різних наборів точок має обмежену інтерпретованість.

Список використаної літератури

1. Behmel S., et al., (2016), “Water Quality Monitoring Strategies – A Review and Future Perspectives”, *Science of the Total Environment*, 571. pp. 1312–1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
2. Jiang J., et al., (2020), “A Comprehensive Review on the Design and Optimization of Surface Water Quality Monitoring Networks”, *Environmental Modelling & Software*, 132. article 104792. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104792>
3. Brus D.J., Knotters M., (2008), “Sampling Design for Compliance Monitoring of Surface Water Quality: A Case Study in a Polder Area”, *Water Resources Research*, 44. article W11410. <https://doi.org/10.1029/2007WR006123>
4. Coraggio E., et al., (2022), “Water Quality Sampling Frequency Analysis of Surface Freshwater: A Case Study on Bristol Floating Harbour”, *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. article 791595. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.791595>
5. Ivanovsky A., et al., (2016), “Water Quality Assessment of a Small Peri-Urban River Using Low and High Frequency Monitoring”, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18. pp. 624–637. <https://doi.org/10.1039/C5EM00659G>
6. Benisch J., et al., (2024), “Can Short-Term Online-Monitoring Improve the Current WFD Water Quality Assessment Regime? Systematic Resampling of High-Resolution Data from Four Saxon Catchments”, *Water*, 16(6). article 889. <https://doi.org/10.3390/w16060889>
7. Wang L., et al., (2025), “Optimizing Water Quality Monitoring Networks through Temporal and Spatial Analysis”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6). article 119311. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119311>
8. Vizcaino I.P., et al., (2016), “Spatio-Temporal Analysis of Water Quality Parameters in Machángara River with Nonuniform Interpolation Methods”, *Water*, 8(11). article 507. <https://doi.org/10.3390/w8110507>
9. Sierra-Porta D., (2024), “Assessing the Impact of Missing Data on Water Quality Index Estimation: A Machine Learning Approach”, *Discover Water*, 4. article 11. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00068-y>
10. Кабінет Міністрів України, (2018), «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод (Постанова від 19 вересня 2018 р. № 758)», Законодавство України, Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 23 лютого 2026).
11. ДСТУ ISO 5667-6:2009, (2009), Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT).
12. Rodger Baird, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice, Laura Bridgewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2017. - ISBN: 087553287X, 9780875532875. - 26 p.
13. Державне агентство водних ресурсів України, (2026), «Дані державного моніторингу поверхневих вод». URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/> (дата звернення: 23 лютого 2026).

Yevhenii Bulhakov, Polina Bezuhla, Veronika Safonenko

GIS-ORIENTED ASSESSMENT OF THE ROBUSTNESS OF HEAT MAPS OF SURFACE WATER QUALITY TO THE DENSITY OF MONITORING STATIONS AND TEMPORAL ASYNCHRONY OF SAMPLING

The capability of the current state surface water monitoring network to reproduce the spatio-temporal heterogeneity of hydrochemical indicators within the Kyiv reach of the Dnipro River basin under monthly sampling frequency, temporal asynchrony of sampling dates, and missing data at some monitoring sections was examined. The study area comprises the Dnipro River and the mouth (confluence) reaches of tributaries within the city of Kyiv. The objective was to test a reproducible GIS-oriented stress-testing approach for the monitoring network by comparing scenarios that differ in station density and the temporal alignment of measurements. The authors' laboratory determinations of dissolved oxygen (Winkler titration), sulfate ions (turbidimetry), and chloride ions (Mohr method) were obtained at 11 locations (8 official stations and 3 intermediate points) on two dates (13 December 2025 and 25 January 2026) and were compared with the nearest available official data from the State Agency of Water Resources of Ukraine in time and space. Heat maps were generated, and the sensitivity of spatial interpretations to the exclusion of intermediate points, missing data at key sections, and temporal offsets between datasets was evaluated. It was shown that asynchronous monthly sampling and a sparse network of observation points lead to smoothing of concentration fields and the potential omission of local peak concentrations; the highest variability was observed for dissolved oxygen. The prioritization of densifying monitoring stations and increasing sampling frequency at the identified nodes of the river system was substantiated for practical implementation.

Keywords: *geographic information system, heat maps, sampling frequency, missing data, hydrochemical indicators, monitoring station network*

References

1. Behmel S., et al., (2016), "Water Quality Monitoring Strategies – A Review and Future Perspectives", *Science of the Total Environment*, 571. pp. 1312–1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
2. Jiang J., et al., (2020), "A Comprehensive Review on the Design and Optimization of Surface Water Quality Monitoring Networks", *Environmental Modelling & Software*, 132. article 104792. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104792>.
3. Brus D.J., Knotters M., (2008), "Sampling Design for Compliance Monitoring of Surface Water Quality: A Case Study in a Polder Area", *Water Resources Research*, 44. article W11410. <https://doi.org/10.1029/2007WR006123>
4. Coraggio E., et al., (2022), "Water Quality Sampling Frequency Analysis of Surface Freshwater: A Case Study on Bristol Floating Harbour", *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. article 791595. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.791595>
5. Ivanovsky A., et al., (2016), "Water Quality Assessment of a Small Peri-Urban River Using Low and High Frequency Monitoring", *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18. pp. 624–637. <https://doi.org/10.1039/C5EM00659G>.
6. Benisch J., et al., (2024), "Can Short-Term Online-Monitoring Improve the Current WFD Water Quality Assessment Regime? Systematic Resampling of High-Resolution Data from Four Saxon Catchments", *Water*, 16(6). article 889. <https://doi.org/10.3390/w16060889>
7. Wang L., et al., (2025), "Optimizing Water Quality Monitoring Networks through Temporal and Spatial Analysis", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6). article 119311. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119311>
8. Vizcaíno I.P., et al., (2016), "Spatio-Temporal Analysis of Water Quality Parameters in Machángara River with Nonuniform Interpolation Methods", *Water*, 8(11). article 507. <https://doi.org/10.3390/w8110507>
9. Sierra-Porta D., (2024), "Assessing the Impact of Missing Data on Water Quality Index Estimation: A Machine Learning Approach", *Discover Water*, 4. article 11. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00068-y>
10. Kabinet Ministriv Ukrainy, (2018), "Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu vod (Postanova vid 19 veresnia 2018 r. № 758)", *Zakonodavstvo Ukrainy, Verkhovna Rada Ukrainy*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (Accessed: 23 February 2026). (In Ukrainian).
11. DSTU ISO 5667-6:2009, (2009), "Yakist vody. Vidbyrannia prob. Chastyna 6. Nastanovy shchodo vidbyrannia prob z richok i strumkiv (ISO 5667-6:2005, IDT)". (In Ukrainian).
12. Rodger Baird, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice, Laura Bridgewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2017. - ISBN: 087553287X, 9780875532875. - 26 p.
13. Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy, (2026), "Dani derzhavnoho monitorynhu poverkhnevnykh vod". Available at: <http://monitoring.davr.gov.ua/> (Accessed: 23 February 2026). (In Ukrainian).