

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-29>

УДК 504.064.36:556.114.6

Моніторинг важких металів як основа оцінки якості вод річки Південний Буг

Яна Залізник,  <https://orcid.org/0000-0002-6497-1215>, e-mail: yana.bezussyak@gmail.com

д. філософії (науки про Землю), викладач кафедри екології

Сергій Сонько,  <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>, e-mail: sp.sonko@gmail.com

д. геогр. н., професор, кафедра екології

Ольга Василенко,  <https://orcid.org/0000-0002-2584-810X>, e-mail: jannetodessa@gmail.com

к. с-г. н., доцент, завідувач кафедри екології

Олександр Балабак,  <https://orcid.org/0000-0002-7435-9783>, e-mail: o.a.balabak@ukr.net

д. с-г. н., професор, кафедра екології

Алла Балабак,  <https://orcid.org/0000-0002-7483-277X>, e-mail: A.V.Balabak@ukr.net

к. с-г. н., доцент, кафедра екології

Ігор Гурський,  <https://orcid.org/0000-0002-3822-3889>, e-mail: gurskiyvet@gmail.com

к. с-г. н., доцент, кафедра екології

¹ Уманський національний університет, Умань, Черкаська обл., Україна

АНОТАЦІЯ

У статті представлено результати комплексних досліджень хімічного складу річкових вод басейну р. Південний Буг, що формуються під впливом поєднання природних геохімічних процесів та антропогенного навантаження. Будучи головною водною артерією центрального регіону, він виконує роль ключового джерела господарсько-питного водопостачання та виступає стратегічним ресурсом для забезпечення енергетичної та продовольчої безпеки держави. Встановлено, що підземні води, які акумулюють продукти руйнування кристалічних порід Українського щита, є основним джерелом живлення річкової системи, а різна мінералізація водоносних горизонтів зумовлює просторову неоднорідність складу. Детальний аналіз гідрохімічних показників дозволив ідентифікувати зони найбільш інтенсивного техногенного впливу в межах басейну. Особлива увага приділена ролі водневого показника рН як ключового регулятора розчинності, міграції та токсичності важких металів. Сезонні коливання рН (6,5–8,76) відображають вплив температурних та біологічних процесів, що визначають динаміку кислотно-лужного балансу. Дослідження концентрацій заліза, міді та марганцю виявило різну сезонну поведінку. У період весняної повені концентрації $\text{Fe}_{\text{заг}}$ коливалися в межах 0,23–0,36 мг/дм³, що перевищує нормативне значення. У літньо-осінню межень відзначається певне зниження концентрацій заліза, проте вони залишаються досить варіативними – від 0,2 до 0,31 мг/дм³. Аналогічна тенденція простежується і в зимову межень. Вміст міді залишається відносно стабільним (0,0013–0,095 мг/дм³) завдяки здатності зв'язуватися з органічною речовиною. Вміст марганцю в річковій воді демонструє перевищення нормативів (досягаючи рівня 0,12 мг/дм³) унаслідок природних і антропогенних факторів, а також це може бути пов'язано з процесами мобілізації металів із донних відкладів унаслідок зміни окисно-відновного потенціалу та температурного режиму. Встановлено, що інтенсивність вимивання металів корелює з інтенсивністю атмосферних опадів та рівнем сільськогосподарського освоєння водозборів. Отримані результати підтверджують взаємозв'язок між рН та концентраціями металів, що визначає якість води та екологічну безпеку річкових екосистем. Виявлені закономірності просторово-часового розподілу

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ :

Рукопис надійшов
11 лютого 2026

Отримано після рецензування
17 березня 2026

Затверджено до друку
25 травня 2026

Опубліковано онлайн
30 травня 2026

Ключові слова :

екологічний моніторинг, забруднення річкових вод, водневий показник рН, забруднення важкими металами, сезонна динаміка забруднення, гідро-екосистеми, екологічна безпека, нормативне значення, антропогенне навантаження, річкові басейни.

Як цитувати :

Залізник Яна, Сонько Сергій, Василенко Ольга, Балабак Олександр, Балабак Алла, Гурський Ігор (2026). Моніторинг важких металів як основа оцінки якості вод річки Південний Буг. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (64), 383–394. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-29>



© Яна Залізник, Сергій Сонько, Ольга Василенко, Олександр Балабак, Алла Балабак, Ігор Гурський, 2026
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

металів створюють наукове підґрунтя для розробки природоохоронних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу антропогенних чинників, запобігання вторинному забрудненню та забезпечення сталого функціонування басейну Південного Бугу.

Вступ

Забруднення поверхневих і підземних вод високими концентраціями важких металів є глобальним екологічним викликом, що потребує комплексного вирішення на міжнародному рівні. Саме тому у 2015 році Організація Об'єднаних Націй ухвалила Глобальні цілі сталого розвитку, спрямовані на подолання бідності, захист планети та забезпечення процвітання до 2030 року. Серед них ключовою є Ціль 6: «Чиста вода та належні санітарні умови», яка акцентує увагу на необхідності забезпечення доступності безпечної води та зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси [1].

У цьому контексті особливого значення набуває дослідження стану річкових систем України, зокрема басейну р. Південний Буг, який є важливим джерелом водопостачання та має стратегічне значення для регіонального розвитку. Територія басейну річки має високий рівень господарського освоєння. Це один із найрозвиненіших аграрних регіонів України, що одночасно має значний рівень промислового виробництва. Сільськогосподарські угіддя становлять 81% площі басейну в межах області.

Додатково слід враховувати, що річки сходу та півдня України зазнали значного забруднення внаслідок воєнних дій, які супроводжуються руйнуванням промислових об'єктів, інфраструктури та систем водопостачання. Це призводить до потрапляння у водні екосистеми токсичних речовин, включаючи важкі метали, нафтопродукти та інші небезпечні сполуки. У таких умовах особливо важливо зберегти відносно стабільний екологічний стан річок центральної частини країни, зокрема Південного Бугу, який може відігравати роль резервного джерела водних ресурсів та підтримувати екологічну рівновагу регіону.

Проблема забруднення вод Південного Бугу важкими металами відображає загальносвітові тенденції. У всьому світі багато дослідників повідомляють про забруднення річкових басейнів важкими металами, що підтверджує високий рівень антропогенних скидів у басейни річок, які забруднюють як воду, так і відклади. Академічні дослідження підтверджують, що важкі метали у водних екосистемах спричиняють комплексні хімічні та біологічні зміни, які порушують функціонування природних процесів [2; 3]. Вони здатні переходити у розчинну форму залежно від кислотно-лужного балансу, що підвищує їхню мобільність та токсичність для гідробіонтів [4]. У результаті відбувається порушення метаболічних процесів у риб та без-

хребетних, зниження біорізноманіття та деградація екосистем [5]. Дослідження, проведене дослідниками [6], показало, що навіть відносно низькі концентрації металів у річкових системах міст створюють значні ризики для водної біоти та населення, яке використовує ці ресурси для питного водопостачання.

Дослідження, які містять розробки теоретичних основ і практичних методів для визначення та оцінювання антропогенного навантаження, зокрема вмісту важких металів у поверхневих водах басейну, і стійкості річкових басейнів, представлені і у роботах вітчизняних вчених. Зокрема, у працях М. М. Ганущак [7, 8] охарактеризовано якість поверхневих вод, яка прямо залежить від ступеня антропогенної змінності басейнової системи. Науковець О. М. Крайнюков описує використання різних методик для оцінювання екологічного стану поверхневих вод та оцінювання різних наслідків їх забруднення, а також і їх токсикологічного стану [9–11]. Антоняк Г. Л. у своїх напрацюваннях зазначає вплив важких металів на водних мешканців – гідро біонтів [12]. Гуменюк Г. Б. у своїй науковій роботі [13] здійснив порівняльну характеристику розподілу важких металів у гідроекосистемах різного типу. Отже, незважаючи на значний масив вітчизняних досліджень, присвячених оцінці антропогенного навантаження та забруднення басейну Південного Бугу, специфіка забруднення поверхневих вод важкими металами залишається актуальною і відкритою для вивчення напрямком.

Небезпека полягає також у тому, що важкі метали мають здатність накопичуватися у донних відкладах, утворюючи своєрідні «резервуари» забруднення [14]. За зміни гідрохімічних умов вони можуть повторно переходити у водну товщу, спричиняючи вторинне забруднення. Це явище ускладнює процеси очищення та робить забруднення довготривалим і стійким. Як зазначають автори [15], поєднання важких металів із іншими забруднювачами, зокрема мікропластиком, створює синергетичний ефект, що посилює токсичність і підвищує ризики для здоров'я людини, включаючи канцерогенні та нейротоксичні наслідки.

З точки зору суспільного здоров'я, забруднені важкими металами річкові води становлять небезпеку через їхнє використання у системах питного водопостачання [16] та сільському господарстві [17]. Метали можуть потрапляти у харчові ланцюги, акумулюючись у рослинах і тваринах, що призводить до хронічного впливу на організм людини. Це підтверджено низкою

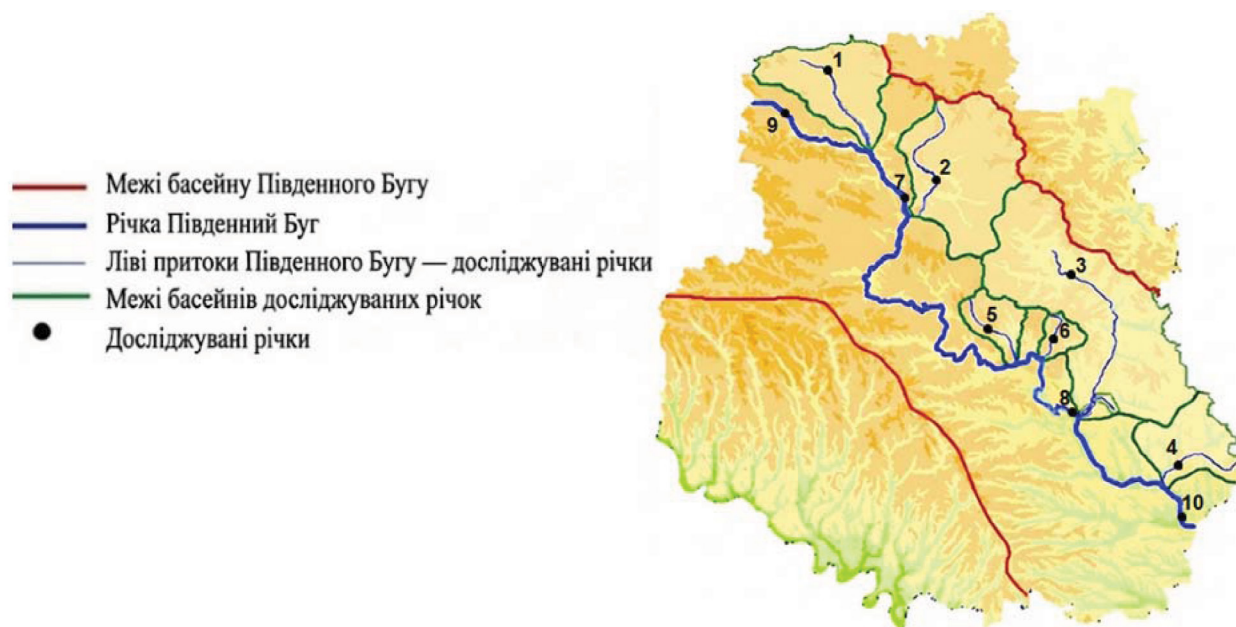


Рис. 1. Карта мережі спостережень за показниками гідрологічного та гіdroхімічного режимів водотоків у межах басейну Південного Бугу (нумерація згідно з переліком досліджуваних річок) /

Fig. 1. Map of the observation network for hydrological and hydrochemical indicators of watercourses within the Southern Bug River basin (numbering according to the list of studied rivers)

міжнародних наукових публікацій, які аналізують біоаккумуляцію та токсичні наслідки для здоров'я [1; 18; 19].

З огляду на наведені дані, проблема забруднення річкових вод важкими металами має не лише локальний, а й глобальний характер, що підтверджується численними міжнародними дослідженнями. У цьому контексті критично важливим є удосконалення систематичного моніторингу якості води. Відповідно до Статті 8 Водної рамкової директиви ЄС (Директива 2000/60/ЄС) [20], програми моніторингу повинні забезпечувати узгоджений та всебічний огляд екологічного та хімічного стану поверхневих вод у кожному річковому басейні та дозволяти класифікувати масиви вод згідно з Додатком V до ВРД [20]. Тому дослідження були спрямовані на отримання інформації про стан річкового басейну та якість води для розроблення найбільш раціональних, економічно вигідних і екологічно безпечних шляхів господарського використання території басейну Південного Бугу.

Методи. Геоморфологічне розташування басейну Південного Бугу є специфічним, оскільки він має витягнуту орієнтацію з північного заходу на південний схід в межах Правобережної України. Ландшафт досліджуваного регіону є типовим Східноєвропейської рівнинної ландшафтої країни. Протяжність річки складає 806 км і вона є однією з провідних водних систем України. Маючи площу водозбору 63 700 км², басейн річки межує з басейном р. Дністра на заході, а на півночі та сході — з басейном Дніпра.

Територіально басейн Південного Бугу охоплює сім областей України, серед яких Вінницька займає позицію лідерів, оскільки охоплює 25,7% площі басейну. Гідрографічна мережа басейну вирізняється розгалуженістю та значною кількістю приток. Так як лівобережна частина Південного Бугу зазнає найінтенсивнішого антропогенного впливу, через велике зосередження промислових підприємств та фермерських господарств, то для проведення моніторингу нами було обрано саме ліві притоки річки в межах Вінницької області. Дослідження проводилося за басейновим підходом, що дало змогу виявити закономірність збільшення вмісту забруднюючих речовин у воді від північних до південних районів.

Дослідження проводили у 2023–2025 роках. Гіdroхімічна база даних була сформована за 10 пунктами спостережень (рис 1).

Нижче наведено перелік досліджуваних річок з координатами місць відбору проб поверхневих вод (табл. 1).

Збір та систематизація гіdroхімічних показників проводилися з урахуванням сезонної періодичності: періоду повені та межених періодів (зимового та літньо-осіннього). Такий розподіл дозволив ідентифікувати однорідні групи даних, що характеризують відмінності у механізмах надходження та трансформації хімічних речовин у річкові води в різні фази гіdroлогічного року.

Точки відбору проб води визначалися з урахуванням розташування базису ерозії річкових систем, оскільки наближення приток до головної артерії — Південного Бугу — та особливості

Таблиця 1 / Table 1

**Досліджувані річки з координатами точок відбору проб /
Studied rivers and coordinates of sampling points**

№	Річка	Географічні координати / точок відбору проб води
1	Снивода	Витік: 49.673008, 28.171597
		Рибгосп (с. Пиків): 49.56136715440914
		Гирло: 49.478289, 28.330459
2	Десна	Витік: 49.429624, 28.676661
		СФГ «Лоза» (с. Лозівка): 49.489139, 28.824451
		Гирло: 49.321439, 28.497152
3	Соб	Витік: 49°21'48", 29°05'25"
		Підприємства (м. Іллінці): 49.112181, 29.208017
		Гирло: 48°40'36", 29°16'37"
4	Удич	Витік: 48.649923, 29.963576
		Відбір вод від м. Теплик (с. Пологи): 48.576810, 29.725821
		Гирло: 48°29'32", 29°40'09"
5	Устя	Витік: 48°51'20", 28°59'41"
		Південний схід від м. Немирів: 48.952860, 28.865361
		Гирло: 48.855153, 28.994757
6	Рудка	Витік: 48.889941, 29.185234
		ПСП «Мрія» (с. Косанове): 48.836050, 29.194402
		Гирло: 48°48'45", 29°09'02"
7	Південний Буг (м. Вінниця)	49.278259, 28.469878
		49.190378, 28.440831
		49.273676, 28.470678
		49.191685, 28.455910
		49.231165, 28.483670
8	Південний Буг (м. Ладижин)	48.714173, 29.173393
		48.672926, 29.281706
		48.710064, 29.224926
		48.682016, 29.265720
9	Південний Буг (м. Хмільник)	49.556706, 27.912617
		49.548063, 27.958469
		49.537721, 27.976928
10	Південний Буг (с. Ставки)	48.377200, 29.741288
		48.372131, 29.774094
		48.363697, 29.800475

сформованого ними рельєфу сприяють зростанню концентрації забруднюючих речовин. Для отримання порівняльних характеристик забір води проводився у ключових створах: біля витoku та в гирловій частині кожної досліджуваної річки, а також поблизу можливих об'єктів, які спричиняють забрудненню (промислові підприємства, фермерські господарства тощо).

Польові дослідження виконувались згідно «Методики комплексних польових географічних досліджень» [21]. Визначення вмісту важких металів у воді виконувались у лабораторії «УМАНЬВОДОКАНАЛ». Нормативні значення важких металів, якими ми керувалися, використані з джерела [22].

Обговорення результатів. Аналізуючи умови формування гідрохімічного режиму в басейні р. Південного Бугу, слід врахувати його розташування в межах Українського кристалічного щита. Впродовж року річки отримують основне живлення саме з підземних горизонтів, збагачених продуктами деструкції кристалічних порід та осадових пісків четвертинного періоду. У нижній течії, де басейн переходить у Причорноморську низовину, на склад води впливають вапнякові відклади та лесові породи. Тому зміна мінералізації підземних вод пов'язана з неоднорідністю кристалічної основи, що є ключовим фактором просторової мінливості гідрохімічних показників усієї річкової мережі.

Результати досліджень води на вміст важких металів є ключовим показником екологічного стану річкових екосистем, оскільки вони дозволяють не лише визначити фактичний рівень забруднення, але й простежити закономірності міграції та накопичення токсичних елементів у водному середовищі. Аналіз отриманих даних забезпечує можливість оцінити відповідність якості води санітарним нормам, виявити джерела антропогенного навантаження та визначити потенційні ризики для біоти й здоров'я населення. Таким чином, результати досліджень виступають науковим підґрунтям для розробки природоохоронних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу важких металів та забезпечення сталого функціонування річкових систем.

Моніторинг водневого показника рН є необхідним елементом дослідження забруднення річкових вод важкими металами, оскільки саме кислотно-лужний баланс визначає їхню розчинність, міграцію та токсичність у водному середовищі. Зв'язок між рівнем водневого показника рН та вмістом металів у водах річок є одним із ключових чинників, що визначає якість водного середовища та його екологічну безпеку. Водневий показник виступає регулятором хімічної рівноваги у водних екосистемах, оскільки саме він визначає розчинність, міграцію та біодоступність металів. У кислих умовах, коли рН знижується, концентрація

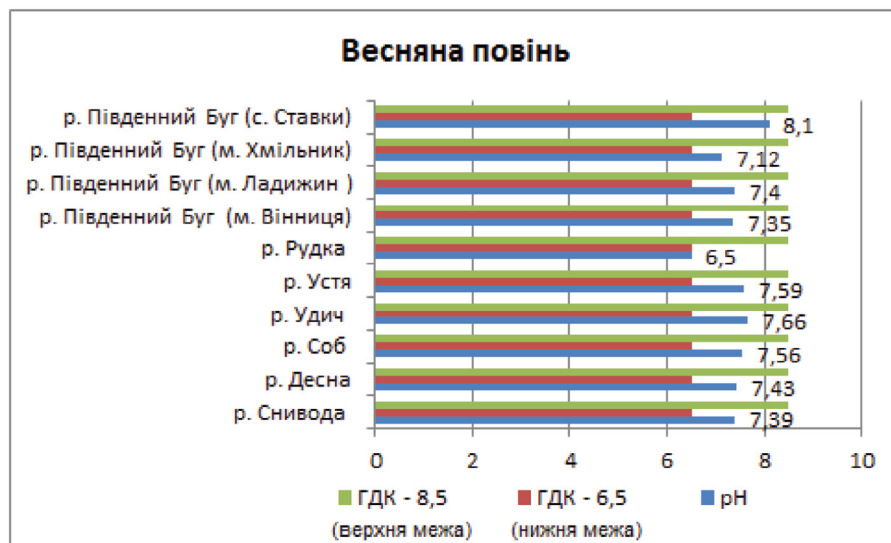
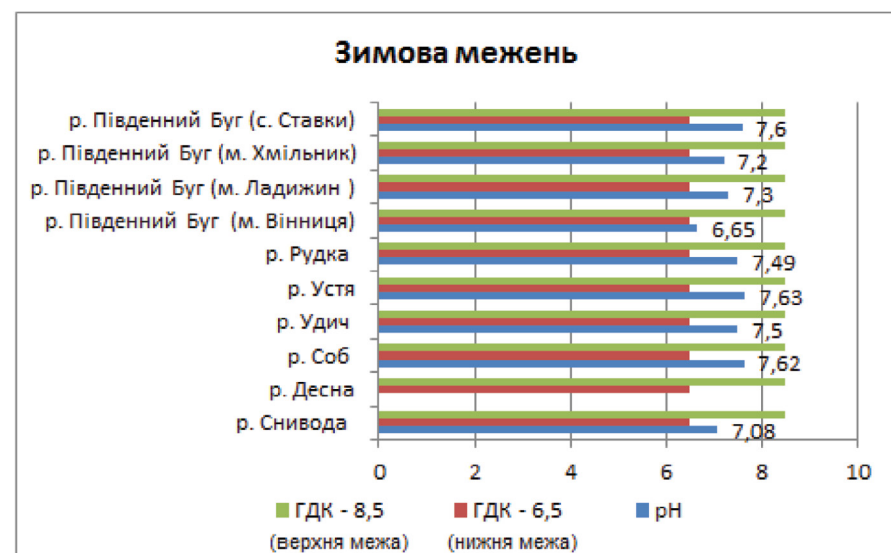


Рис. 2–4. Водневий показник за різні періоди у досліджуваних річках
Fig. 2–4. pH values across different periods in the studied rivers

іонів водню зростає, що сприяє переходу багатьох металів у розчинну форму. Це стосується заліза, марганцю та міді які стають більш мобільними і токсичними для живих організмів. У нейтральному середовищі більшість металів перебуває у стані рівноваги між розчиненими та осадовими формами, тоді як у лужних умовах вони утворюють гідроксиди та карбонати, що випадають в осад і знижують їхню концентрацію у воді [23].

Таким чином, рН води визначає не лише хімічний склад річкових екосистем, але й рівень їхньої стійкості до антропогенного навантаження. У районах із підвищеною кислотністю, спричиненою кислотними дощами чи шахтними стоками, спостерігається зростання токсичності металів, що негативно впливає на рибу, безхребетних та водну рослинність. У лужних умовах ризик для біоти зменшується, проте виникає небезпека довготривалого накопичення металів у донних відкладах, які можуть слугувати джерелом вторинного забруднення [24]. Відповідно, моніторинг кисло-лужного балансу води є необхідним елементом оцінки стану річкових екосистем, оскільки навіть незначні зміни рН здатні суттєво змінити доступність металів і вплинути на екологічну безпеку водних ресурсів.

Рівень водневого показника істотно впливає на формування якості води. Значення цього показника в досліджених річкових водах коливається від 6,5 до 8,5. При цьому спостерігають його зміни у різні сезони року, а саме в теплий період рН для більшості річок складає 7,31–8,76, у холодний – у межах 6,65–7,63. За рахунок даного показника зазначають ступінь агресивності води щодо вмісту металів, їх міграції тощо. У весняну половину значення рН річкових вод басейну р. Південний Буг сягає меж 6,5–8,1 (рис. 2–4).

Результати проведених досліджень узгоджуються з висновками інших авторів [24; 25], які підтверджують, що водневий показник рН є динамічним параметром, чутливим до сезонних змін гідрологічних та кліматичних умов. Зокрема, встановлено, що температура води виступає одним із ключових чинників, який визначає інтенсивність хімічних та біологічних процесів у водному середовищі, а відтак безпосередньо впливає на рівень рН. У теплі періоди року, коли температура води зростає, активізуються процеси фотосинтезу та біологічного споживання вуглекислого газу, що може спричинити підвищення рН у бік лужних значень. Натомість у холодний сезон зниження температури супроводжується зменшенням інтенсивності біологічних процесів та підвищенням розчинності газів, зокрема CO_2 , що призводить до зсуву рН у кислий бік. Таким чином, сезонність

виступає визначальним фактором у формуванні кисло-лужного балансу річкових екосистем, а температура води є головним регулятором цих змін.

Крім того, дещо вищі значення можна побачити у тих частинах басейну р. Південного Бугу, де збільшені фотосинтетичні процеси, а саме у водосховищах, оскільки відбувається застій води. Найбільші підвищення рН спостерігаються у літньо-осінню межень до 8,76 у точці досліджень поблизу села Ставки, розташованого на кордоні Вінницької та Кіровоградської областей. Даний рівень водневого показника рН перевищує верхню межу гранично допустимих концентрацій. Отже, виникає низка небезпек для екосистеми та якості води. У таких умовах змінюється хімічна рівновага, що впливає на розчинність і доступність багатьох елементів. Більшість металів утворює нерозчинні гідроксиди та карбонати, які випадають в осад, проте це призводить до їхнього накопичення у донних відкладах і створює ризик вторинного забруднення при зміні гідрохімічних умов [26]. Також за свідченням [27] надмірна лужність також погіршує органолептичні властивості води, робить її непридатною для питного використання без попередньої обробки та може спричинити утворення відкладень у водопровідних системах.

Вивчення вмісту заліза (Fe), міді (Cu) та марганцю (Mn) у річковій воді має важливе значення для оцінки екологічного стану водних екосистем та визначення рівня їхньої придатності для господарського використання. Ці метали належать до числа найбільш поширених природних компонентів гідросфери, проте їхня концентрація істотно залежить від геохімічних умов, рівня антропогенного навантаження та гідрологічних особливостей басейну. У малих кількостях вони виконують біологічно важливі функції, беручи участь у метаболізмі живих організмів, однак при перевищенні гранично допустимих концентрацій стають небезпечними полутантами, що негативно впливають на якість води та здоров'я населення [28; 29]. Тому, результати досліджень їх вмісту у річковій воді дозволяють простежити просторові та часові закономірності їхнього розподілу, виявити джерела забруднення та оцінити відповідність показників санітарним нормам. Вони є основою для формування висновків щодо екологічної безпеки водних ресурсів та розробки заходів з їхнього раціонального використання і охорони (рис. 5–7, 8–10, 11–13).

Вміст загального заліза у річкових водах басейну Південного Бугу демонструє чітку сезонну динаміку, що відображає як природні гідрологічні процеси, так і рівень антропогенного навантаження на річкову систему. У пе-

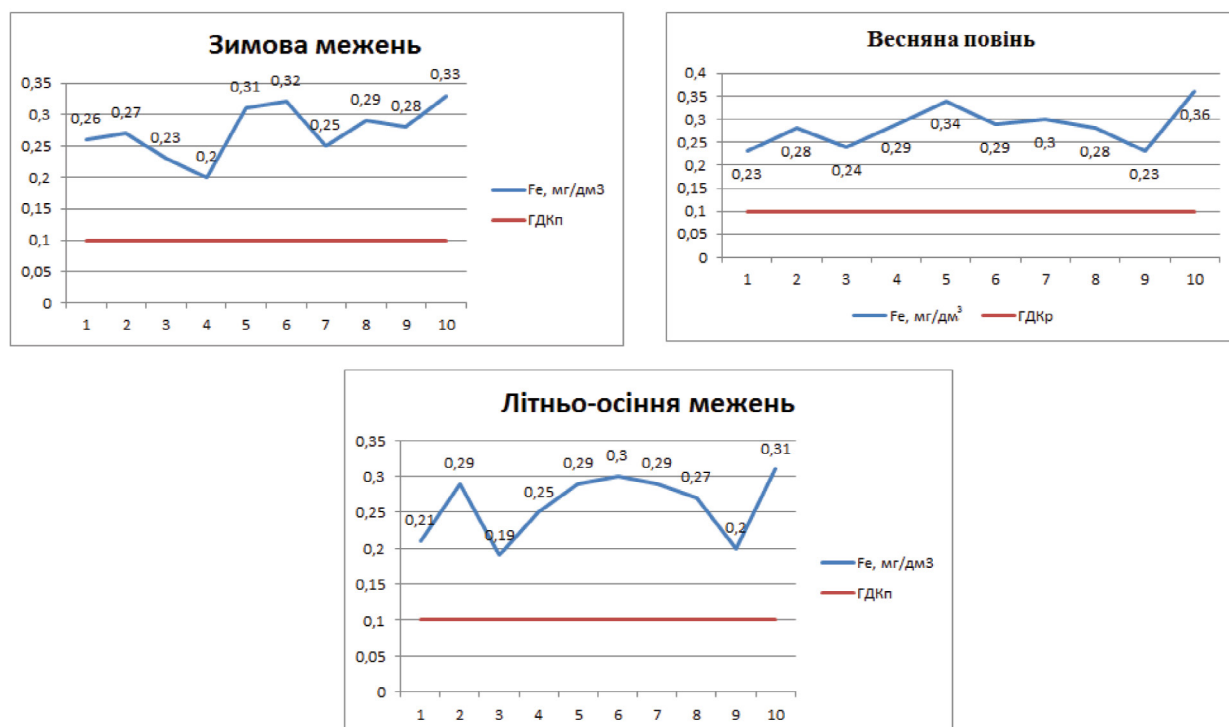


Рис. 5–7. Вміст $Fe_{\text{заг}}$ за різні періоди у досліджуваних річках

(де 1 – р. Сниво́да, 2 – р. Десна, 3 – р. Соб, 4 – р. Удич, 5 – р. Устя, 6 – р. Рудка, 7 – р. Південний Буг (м. Вінниця), 8 – р. Південний Буг (м. Лади́жин), 9 – р. Південний Буг (м. Хмі́льник), 10 – р. Південний Буг (с. Ста́вки)) /

Fig. 5–7. Total iron content (Fe_{total}) across different periods in the studied rivers

(where 1 – Snyvoda River, 2 – Desna River, 3 – Sob River, 4 – Udych River, 5 – Ustia River, 6 – Rudka River, 7 – Southern Bug River (Vinnytsia), 8 – Southern Bug River (Ladyzhyn), 9 – Southern Bug River (Khmilnyk), 10 – Southern Bug River (Stavky))

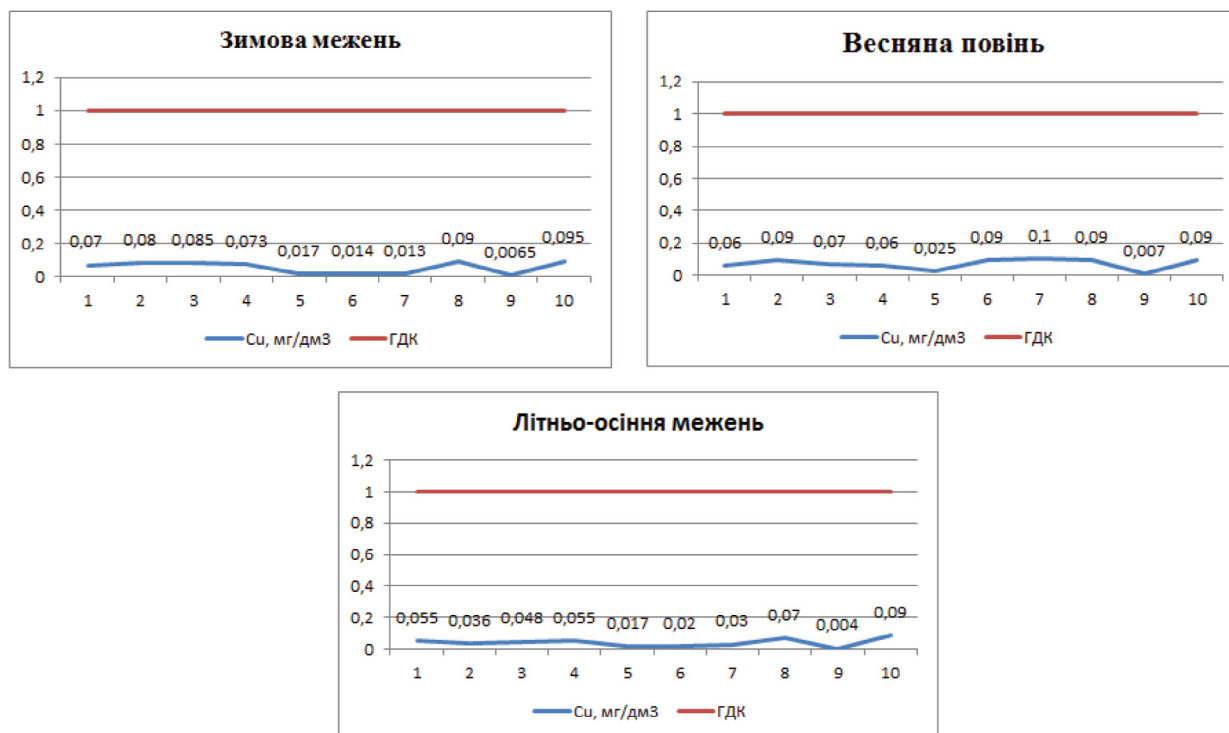


Рис. 8–10. Вміст Cu за різні періоди у досліджуваних річках

(де 1 – р. Сниво́да, 2 – р. Десна, 3 – р. Соб, 4 – р. Удич, 5 – р. Устя, 6 – р. Рудка, 7 – р. Південний Буг (м. Вінниця), 8 – р. Південний Буг (м. Лади́жин), 9 – р. Південний Буг (м. Хмі́льник), 10 – р. Південний Буг (с. Ста́вки)) /

Fig. 8–10. Copper (Cu) content across different periods in the studied rivers

(where 1 – Snyvoda River, 2 – Desna River, 3 – Sob River, 4 – Udych River, 5 – Ustia River, 6 – Rudka River, 7 – Southern Bug River (Vinnytsia), 8 – Southern Bug River (Ladyzhyn), 9 – Southern Bug River (Khmilnyk), 10 – Southern Bug River (Stavky))

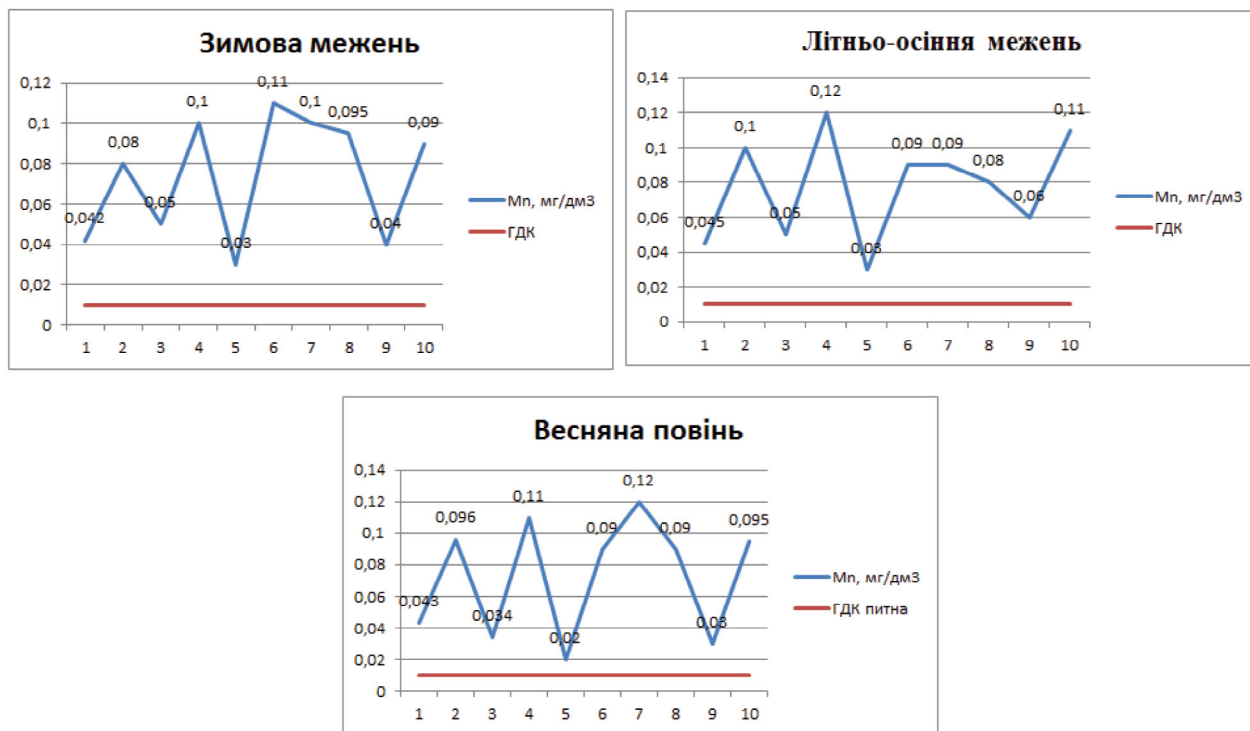


Рис. 11–13. Вміст Mn за різні періоди у досліджуваних річках (де 1 – р. Сниво́да, 2 – р. Десна, 3 – р. Соб, 4 – р. Удич, 5 – р. Устя, 6 – р. Рудка, 7 – р. Південний Буг (м. Вінниця), 8 – р. Південний Буг (м. Ладизин), 9 – р. Південний Буг (м. Хмільник), 10 – р. Південний Буг (с. Ставки)) /

Fig. 11–13. Manganese (Mn) content across different periods in the studied rivers (where 1 – Snyvoda River, 2 – Desna River, 3 – Sob River, 4 – Udych River, 5 – Ustia River, 6 – Rudka River, 7 – Southern Bug River (Vinnytsia), 8 – Southern Bug River (Ladyzhyn), 9 – Southern Bug River (Khmilnyk), 10 – Southern Bug River (Stavky))

ріод весняної повені концентрації $Fe_{\text{заг}}$ коливалися в межах 0,23–0,36 мг/дм³, що перевищує гранично допустимі концентрації. Важливо підкреслити, що такі показники були зафіксовані практично на всіх пунктах спостережень, що свідчить про масштабність явища та його системний характер.

У літньо-осінню межень відзначається певне зниження концентрацій заліза, проте вони залишаються досить варіативними – від 0,2 до 0,31 мг/дм³. Аналогічна тенденція простежується і в зимову межень. У більшості пунктів спостережень концентрації заліза залишаються нижчими, однак у тих ділянках, де перевищення нормативного значення було зафіксоване раніше, показники залишаються стабільно високими – 0,25–0,31 мг/дм³. Це свідчить про стійкість джерел забруднення та можливе накопичення заліза у донних відкладах із подальшим його вивільненням у водну товщу за певних гідрохімічних умов. Результати досліджень [30] дозволяють стверджувати, що цими умовами можуть бути: зниження окисно-відновного потенціалу (анаеробні умови), коливаннях рН, наявність сульфідів та органічної речовини.

Сезонні коливання концентрацій міді (Cu) у водах річок басейну Південного Бугу (рис. 9–11) не виявили чітко вираженої динаміки, що свідчить про відносну стабільність цього показника

в межах року. Зокрема, у період весняної повені вміст міді становив 0,004–0,09 мг/дм³, що відображає вплив інтенсивного поверхневого стоку та розбавлення водної маси талою водою. У літньо-осінню межень, а також у зимовий період концентрації Cu залишаються у близьких діапазонах – 0,0013–0,095 мг/дм³ як у притоках, так і в основному руслі річки. Відсутність значних сезонних змін може бути пояснена тим, що мідь належить до мікроелементів, які активно зв'язуються з органічною речовиною та мінеральними частинками, що забезпечує її відносну стабільність у водному середовищі.

Вміст марганцю (Mn) у водах басейну Південного Бугу та його приток, зокрема річки Удич, демонструє певні сезонні особливості. У період весняної повені та літньо-осінньої межні концентрації Mn дещо перевищували гранично допустимі концентрації (нормативного значення), досягаючи рівня 0,12 мг/дм³. Хоча ці показники не можна вважати критичними, вони свідчать про підвищене надходження марганцю у водне середовище під час інтенсивного поверхневого стоку та активізації процесів вилуговування з ґрунтів і гірських порід (рис. 12–14).

У літньо-осінню межень концентрація марганцю майже стабілізувалася і в більшості дослідних локацій не перевищувала норматив-

них значень, що пояснюється зменшенням водності річки, зниженням інтенсивності ерозійних процесів та більш рівномірним розподілом хімічних компонентів у водній товщі. Водночас у зимовий період у річці Удич було зафіксовано незначне перевищення нормативного значення ($0,11 \text{ мг/дм}^3$), що може бути пов'язано з локальними геохімічними умовами, зокрема процесами мобілізації металів із донних відкладів унаслідок зміни окисно-відновного потенціалу та температурного режиму.

Основними джерелами надходження марганцю у поверхневі води є природні процеси вилуговування залізо-марганцевих руд та інших мінералів, що містять цей елемент. Крім того, вагомий внесок у формування його концентрацій здійснюють антропогенні фактори, зокрема стічні води промислових підприємств, які можуть містити значні кількості марганцю внаслідок технологічних процесів.

Висновки

Дослідження вказують на те, що якісні характеристики річкових вод у басейні Південного Бугу формуються під впливом як природно-геохімічного фону, так і антропогенної трансформації. Генезис хімічного складу поверхневих вод пов'язаний із підземним живленням із тріщинних зон Українського кристалічного щита, а різна мінералізація водоносних горизонтів зумовлює неоднорідність гідрохімічного режиму річок басейну.

Моніторинг водневого показника рН підтвердив його ключову роль у регулюванні розчинності, міграції та токсичності важких металів. Сезонні коливання рН (нормативне значення 6,5–8,5) відображають вплив температури та біологічних процесів: у теплий період року активізація фотосинтезу сприяє підвищенню рН до лужних значень, тоді як у холодний

сезон зростання розчинності CO_2 призводить до його зниження.

Дослідження вмісту заліза, міді та марганцю теж показало різну сезонну динаміку. Для заліза характерні значні коливання з перевищенням нормативного значення у весняну повінь та стійкі високі концентрації у зимову межень, що свідчить про наявність стабільних джерел забруднення та ризик повторної мобілізації з донних відкладів. Концентрації міді залишаються відносно стабільними протягом року, що пояснюється її здатністю зв'язуватися з органічною речовиною та мінеральними частинками. Марганець демонструє перевищення нормативного значення у весняний та зимовий періоди, що зумовлено як природними процесами вилуговування руд, так і антропогенними джерелами – стічними водами промислових підприємств.

Таким чином, отримані результати підтверджують, що рН та концентрації важких металів є взаємопов'язаними параметрами, які визначають якість води та екологічну безпеку річкових екосистем. Виявлені закономірності просторово-часового розподілу металів та сезонні зміни кислотно-лужного балансу створюють наукове підґрунтя для розробки природоохоронних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу антропогенних факторів, запобігання вторинному забрудненню та забезпечення сталого функціонування басейну Південного Бугу. У цьому контексті доцільним є посилення системи моніторингу, що дозволить своєчасно виявляти критичні зміни у хімічному складі води та оперативно реагувати на них, а також інтеграція отриманих даних у регіональні програми управління водними ресурсами, що сприятиме формуванню збалансованої стратегії охорони довкілля та сталого розвитку території.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту: Автори використовували інструменти генеративного штучного інтелекту (GenAI) для допоміжної роботи: модель Gemini було використано під час перевірки правильності перекладу з однієї мови на іншу. Усі результати роботи з цими інструментами були ретельно контрольовані, перевірені та, за необхідності, відредаговані авторами. Автори несуть повну відповідальність за зміст та цілісність публікації.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Declaration of use of generative artificial intelligence: The authors utilized generative artificial intelligence (GenAI) tools in a supportive capacity: the Gemini model was used to check the accuracy of a translation from one language to another. All outputs from these tools were carefully supervised, reviewed, and, where necessary, edited by the authors. The authors retain full responsibility for the content and integrity of the publication.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

REFERENCES

1. Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, (4):1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>

1. Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, (4):1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>

2. Ali, B. N. M., Lin, C. Y., Cleophas, F., Abdullah, M. H., Musta, B. (2015). Assessment of heavy metals contamination in Mamut river sediments using sediment quality guidelines and geochemical indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1): 4190. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4190-y>.
3. Cengiz, M. F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M., Yalcin, M. G. (2017). Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 248. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5925-3>.
4. Patel, Priyanka, Janardhana Raju, N., Sundara Raja Reddy, B. C., Suresh, U., Sankar, D. B., Reddy, T. V. K. (2018). Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 609–623. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7>.
5. El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., Mahmoud, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. *Sustainability*, 17(2), 701. <https://doi.org/10.3390/su17020701>.
6. Gao, X., Han, G., Zhang, S., Zeng, J. (2025). Sources, Water Quality, and Potential Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Typical Megacity River: Insights from Monte Carlo Simulation. *Water*, 17(2), 224. <https://doi.org/10.3390/w17020224>.
7. Ганущак, М. М. (2012). Взаємозв'язки змінних показників стану системи басейну річки Стир як індикатор екологічної стабільності. *Молодь науки Волині: пріоритети та перспективи досліджень: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів та студентів*, у 3 томах. Т. 3. 14–15 травня. Луцьк: Волинський національний університет імені Лесі Українки. 46–47.
8. Ганущак, М. М. (2010). Річковий басейн як геоecологічна система. *Волинь очима молодих науковців: минуле, сучасне, майбутнє: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів та студентів*, у 2 томах. Т. 2. 12–13 травня. Луцьк: РВВ «Вежа», Волинський національний університет імені Лесі Українки. 87–88.
9. Крайнюкова, А. М., Крайнюков, О. М., & Кривицька, І. А. (2021). Використання методик біотестування для оцінювання екологічного стану поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*, (24), 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09>.
10. Крайнюков, О. М., Кривицька, І. А., Крайнюкова, А. М., & Lineman M. (2022). Проблема оцінювання економічних наслідків хімічного забруднення поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*, 26, 89–101. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-08>.
11. Крайнюков, О. М., Воробйов, Д. С. (2024). Дослідження екологічного та токсикологічного стану річки Лопань. *Молодий вчений*. 4 (128), 8–13. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2024-4-128-33>.
12. Антоняк, Г. Л. (2015). Метали у водних екосистемах та їхній вплив на гідробіонтів. *Біологія тварин*. 17(2), 9–24.
13. Гуменюк, Г. Б. (2010). Порівняльна характеристика розподілу важких металів у гідроecосистемах різних типів. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спецвипуск: Гідроecологія*, 2(43), 139–148.
14. Bartoszek, L., Grucha-Rokosz, R., Pękala, A., Czarnota, J. (2022). Heavy Metal Accumulation in Sediments of Small Retention Reservoirs – Ecological Risk and the Impact of Humic Substances Distribution. *Resources*, 11(12), 113. <https://doi.org/10.3390/resources11120113>.
15. Pathak, H.K., Gandhi, K., Singh, R.P. (2026). Potential Impact of Heavy Metals and Microplastics in River Ecosystem on Aquatic Organisms and Human Health, and Sustainable Mitigation Approaches. *Water Air Soil Pollut.*, 237, 199. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08844-9>.
16. Latif, M., Nasim, I., Ahmad, M. (2025). Human health risk assessment of drinking water using heavy metal pollution index: a GIS-based investigation in mega city. *Appl Water Sci.*, 15, 12. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02341-w>.
17. Madjar, R. M., Vasile Scăteanu, G. (2025). An Overview of Heavy Metal Contamination in Water from Agriculture: Origins, Monitoring, Risks, and Control Measures. *Sustainability*, 17(16), 7368. <https://doi.org/10.3390/su17167368>.
2. Ali, B. N. M., Lin, C. Y., Cleophas, F., Abdullah, M. H., Musta, B. (2015). Assessment of heavy metals contamination in Mamut river sediments using sediment quality guidelines and geochemical indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1): 4190. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4190-y>.
3. Cengiz, M. F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M., Yalcin, M. G. (2017). Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 248. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5925-3>.
4. Patel, Priyanka, Janardhana Raju, N., Sundara Raja Reddy, B. C., Suresh, U., Sankar, D. B., Reddy, T. V. K. (2018). Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 609–623. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7>.
5. El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., Mahmoud, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. *Sustainability*, 17(2), 701. <https://doi.org/10.3390/su17020701>.
6. Gao, X., Han, G., Zhang, S., Zeng, J. (2025). Sources, Water Quality, and Potential Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Typical Megacity River: Insights from Monte Carlo Simulation. *Water*, 17(2), 224. <https://doi.org/10.3390/w17020224>.
7. Hanushchak, M. M. (2012). Interrelationships of variable indicators of the Styr River basin system state as an indicator of environmental stability. *Young Science of Volyn: Priorities and Prospects of Research: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference of Postgraduate Students and Students*, in 3 volumes. 3. May 14–15. Lutsk: Lesya Ukrainka Volyn National University. pp. 46–47.
8. Hanushchak, M. M. (2010). River basin as a geo-ecological system. *Volyn through the Eyes of Young Scientists: Past, Present, Future: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference of Postgraduate Students and Students*, in 2 volumes. 2. May 12–13. Lutsk: RVV "Vezha", Lesya Ukrainka Volyn National University. 87–88.
9. Krainiukov, O. M., Kryvytska, I. A., & Krainiukova, A. M. (2021). Use of bio-testing methods for assessing the ecological state of surface waters. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 24, 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09>.
10. Krainiukov, O. M., Kryvytska, I. A., Krainiukova, A. M., & Lineman, M. (2022). The problem of assessing the economic consequences of chemical pollution of surface waters. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 26, 89–102. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-08>.
11. Krainiukov, O. M., & Vorobiov, D. S. (2024). Research of the ecological and toxicological state of the Lopan River. *Molodyi Vchenyi [Young Scientist]*. 4 (128), 8–13. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2024-4-128-33>.
12. Antonyak, H. L. (2015). Metals in aquatic ecosystems and their impact on hydrobionts. *Animal Biology*. 17, 2, 9–24.
13. Humeniuk, H. B. (2010). Comparative characteristics of heavy metal distribution in hydroeccosystems of various types. *Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology. Special issue: Hydroecology*. 2 (43), 139–148.
14. Bartoszek, L., Grucha-Rokosz, R., Pękala, A., Czarnota, J. (2022). Heavy Metal Accumulation in Sediments of Small Retention Reservoirs – Ecological Risk and the Impact of Humic Substances Distribution. *Resources*, 11(12), 113. <https://doi.org/10.3390/resources11120113>.
15. Pathak, H.K., Gandhi, K., Singh, R.P. (2026). Potential Impact of Heavy Metals and Microplastics in River Ecosystem on Aquatic Organisms and Human Health, and Sustainable Mitigation Approaches. *Water Air Soil Pollut.*, 237, 199. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08844-9>.
16. Latif, M., Nasim, I., Ahmad, M. (2025). Human health risk assessment of drinking water using heavy metal pollution index: a GIS-based investigation in mega city. *Appl Water Sci.*, 15, 12. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02341-w>.
17. Madjar, R. M., Vasile Scăteanu, G. (2025). An Overview of Heavy Metal Contamination in Water from Agriculture: Origins, Monitoring, Risks, and Control Measures. *Sustainability*, 17(16), 7368. <https://doi.org/10.3390/su17167368>.

18. Jomova, K., Alomar, S.Y., Nepovimova, E., Kuca, K., Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Arch Toxicol.*, 99(1): 153-209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>.
19. Mititelu, M., Neacșu, S. M., Busnatu, Ș. S., Scafa-Udriște, A., Andronic, O., Lăcraru, A.-E., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Lupuliasa, D., Negrei, C., & Olteanu, G. (2025). Assessing Heavy Metal Contamination in Food: Implications for Human Health and Environmental Safety. *Toxics*, 13(5), 333. <https://doi.org/10.3390/toxics13050333>.
20. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. (2006). Basic terms and their definitions. Kyiv. 240.
21. Курлова, З., Слободянюк, Т., Руда, В. (2018). Методика комплексних польових географічних досліджень (кафедра наук про Землю): навчально-методичне видання. Київ. 36 с.
22. Maximum allowable concentrations (MAC) and tentative allowable levels (TAL) of harmful substances in the water of water bodies for domestic, drinking, and cultural-general purposes. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5793400-91#Text>. (Accessed July 4, 2025).
23. Zhao, S., Zhao, Y., Cui, Z., Zhang, H., & Zhang, J. (2024). Effect of pH, Temperature, and Salinity Levels on Heavy Metal Fraction in Lake Sediments. *Toxics*, 12(7), 494. <https://doi.org/10.3390/toxics12070494>.
24. Sharma, R., Kumar, A., Singh, N. (2021). Impact of seasonal variation on water quality of Hindon River: physicochemical and biological analysis. *SN Appl. Sci.*, 3, 28. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03986-3>.
25. Shazia, Husain, Ram, Kumar. (2022). Temperature and pH values: Impact and assessment of river water. *International Journal of Biology Research*, 7, 3, 1-4. ISSN: 2455-6548.
26. Chen, X., Zhang, D., Larson, S.L. (2021). Microbially Induced Carbonate Precipitation Techniques for the Remediation of Heavy Metal and Trace Element-Polluted Soils and Water. *Water Air Soil Pollut.*, 232, 268. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05206-z>.
27. Hunter Adams, Gary Burlingame, Keisuke Ikehata, Laith Furtan, I. H. (Mel) Suffet. (2022). The effect of pH on taste and odor production and control of drinking water. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71 (11): 1278–1290. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.133>.
28. Hu, M., Zhou, P., Meng, C. et al. (2025). The coupling effect and ecological risk assessment of iron, manganese, and arsenic in the water environment of the central Yangtze River Basin, China. *Environ Geochem Health*, 47, 8. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02307-6>.
29. Viana, Lucilene, Crispim, Bruno, Sposito, Juliana, Melo, Milena, Francisco, Luiza, Nascimento, Valtter, Barufatti, Alexeia. (2021). High iron content in river waters: environmental risks for aquatic biota and human health. *Ambiente e Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 16. 1-20. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2751>.
30. Heinrich, Lena, Rothe, Matthias, Braun, Burga, Hupfer, Michael. (2021). Transformation of redox-sensitive to redox-stable iron-bound phosphorus in anoxic lake sediments under laboratory conditions. *Water Research*, 189, 116609. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116609>.
18. Jomova, K., Alomar, S.Y., Nepovimova, E., Kuca, K., Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Arch Toxicol.*, 99(1): 153-209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>.
19. Mititelu, M., Neacșu, S. M., Busnatu, Ș. S., Scafa-Udriște, A., Andronic, O., Lăcraru, A.-E., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Lupuliasa, D., Negrei, C., & Olteanu, G. (2025). Assessing Heavy Metal Contamination in Food: Implications for Human Health and Environmental Safety. *Toxics*, 13(5), 333. <https://doi.org/10.3390/toxics13050333>.
20. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. (2006). Basic terms and their definitions. Kyiv. 240.
21. Kurlova, Z., Slobodianiuk, T., & Ruda, V. (2018). *Methodology of comprehensive field geographical research (Department of Earth Sciences): Educational and methodical publication*. Kyiv. 36.
22. Maximum allowable concentrations (MAC) and tentative allowable levels (TAL) of harmful substances in the water of water bodies for domestic, drinking, and cultural-general purposes. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5793400-91#Text>. (Accessed July 4, 2025).
23. Zhao, S., Zhao, Y., Cui, Z., Zhang, H., & Zhang, J. (2024). Effect of pH, Temperature, and Salinity Levels on Heavy Metal Fraction in Lake Sediments. *Toxics*, 12(7), 494. <https://doi.org/10.3390/toxics12070494>.
24. Sharma, R., Kumar, A., Singh, N. (2021). Impact of seasonal variation on water quality of Hindon River: physicochemical and biological analysis. *SN Appl. Sci.*, 3, 28. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03986-3>.
25. Shazia, Husain, Ram, Kumar. (2022). Temperature and pH values: Impact and assessment of river water. *International Journal of Biology Research*, 7, 3, 1-4. ISSN: 2455-6548.
26. Chen, X., Zhang, D., Larson, S.L. (2021). Microbially Induced Carbonate Precipitation Techniques for the Remediation of Heavy Metal and Trace Element-Polluted Soils and Water. *Water Air Soil Pollut.*, 232, 268. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05206-z>.
27. Hunter Adams, Gary Burlingame, Keisuke Ikehata, Laith Furtan, I. H. (Mel) Suffet. (2022). The effect of pH on taste and odor production and control of drinking water. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71 (11): 1278–1290. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.133>.
28. Hu, M., Zhou, P., Meng, C. et al. (2025). The coupling effect and ecological risk assessment of iron, manganese, and arsenic in the water environment of the central Yangtze River Basin, China. *Environ Geochem Health*, 47, 8. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02307-6>.
29. Viana, Lucilene, Crispim, Bruno, Sposito, Juliana, Melo, Milena, Francisco, Luiza, Nascimento, Valtter, Barufatti, Alexeia. (2021). High iron content in river waters: environmental risks for aquatic biota and human health. *Ambiente e Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 16. 1-20. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2751>.
30. Heinrich, Lena, Rothe, Matthias, Braun, Burga, Hupfer, Michael. (2021). Transformation of redox-sensitive to redox-stable iron-bound phosphorus in anoxic lake sediments under laboratory conditions. *Water Research*, 189, 116609. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116609>.

Monitoring of heavy metals for assessing water quality in Southern Bug basin

Yana Zalizniak,  <https://orcid.org/0000-0002-6497-1215>, e-mail: yana.bezussyak@gmail.com

PhD (Earth Sciences), Lecturer at the Department of Ecology

Sergiy Sonko,  <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>, e-mail: sp.sonko@gmail.com

DSc (Geography), Professor, Department of Ecology

Olga Vasylenko,  <https://orcid.org/0000-0002-2584-810X>, e-mail: jannetodessa@gmail.com

PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Ecology

Oleksandr Balabak,  <https://orcid.org/0000-0002-7435-9783>, e-mail: o.a.balabak@ukr.net

DSc (Agriculture), Professor, Department of Ecology

Alla Balabak,  <https://orcid.org/0000-0002-7483-277X>, e-mail: A.V.Balabak@ukr.net

PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of Ecology

Ihor Hurskyi,  <https://orcid.org/0000-0002-3822-3889>, e-mail: gurskyivet@gmail.com

PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of Ecology

¹ *Uman National University, Uman, Cherkasy region, Ukraine*

ABSTRACT

Introduction. The article presents the results of comprehensive studies on the chemical composition of river waters in the Southern Bug River basin (central Ukraine), formed under the influence of combined natural geochemical processes and anthropogenic pressure. As the main water artery of the central region, the river serves as a key source of domestic and drinking water supply and acts as a strategic resource for ensuring the state's energy and food security. Monitoring this system is essential for forecasting changes in water discharge and quality under climate challenges.

The purpose of the article. The aim of the study is to identify spatio-temporal patterns of heavy metal distribution in the waters of the Southern Bug basin and to assess their impact on water quality and the environmental safety of river ecosystems.

Data and methods. A comprehensive approach was applied, including hydrochemical monitoring, analysis of seasonal pH fluctuations, determination of iron, copper, and manganese concentrations, and evaluation of the influence of natural and anthropogenic factors (precipitation, land use, redox potential).

Results. Groundwater, which accumulates degradation products of crystalline rocks of the Ukrainian Shield, was found to be the primary source of river recharge. Spatial heterogeneity of water composition is caused by varying mineralization of aquifers. Zones of the most intense technogenic impact were identified. Seasonal pH fluctuations (6.5–8.76) regulate solubility, migration, and toxicity of heavy metals. Iron concentrations (0.2–0.36 mg/dm³) exceeded regulatory values during spring floods, while copper remained relatively stable (0.0013–0.095 mg/dm³). Manganese concentrations reached 0.12 mg/dm³, exceeding standards due to both natural and anthropogenic factors, including mobilization from sediments under changing redox and temperature regimes. The intensity of metal leaching correlated with precipitation and agricultural land use.

The scientific novelty. For the first time, a correlation between seasonal pH fluctuations and heavy metal concentrations was established for the Southern Bug basin, determining water quality and ecological stability of the river system.

Practical significance. The identified patterns of spatio-temporal metal distribution provide a scientific basis for developing environmental protection measures aimed at reducing anthropogenic impacts, preventing secondary pollution, and ensuring sustainable functioning of the Southern Bug basin. The proposed approaches can be applied to optimize the regional environmental monitoring system for water resources.

ARTICLE INFO

Manuscript received
11 February 2026

Revised manuscript received
17 March 2026

Manuscript accepted
25 May 2026

Available online
30 May 2026

Keywords:

environmental monitoring, river water pollution, pH value, heavy metal pollution, seasonal pollution dynamics, hydro-ecosystems, environmental safety, regulatory value, anthropogenic pressure, river basins.

In cites:

Zalizniak Yana, Sonko Sergiy, Vasylenko Olga, Balabak Oleksandr, Balabak Alla, Hurskyi Ihor (2026). Monitoring of heavy metals for assessing water quality in Southern Bug basin. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, (64), 383–394. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-29> [In Ukrainian]