

Вплив кавітаційних процесів на очищення річкової води гірських потоків

О.М. Яхно¹ • І.Р. Гнатів² • Р.М. Гнатів³

Received: 7 April 2022 / Accepted: 30 May 2022

Проблематика: В статті розглянуто питання дослідження впливу кавітаційних явищ в гідродинамічно-активних ділянках гірських річок на процеси природного самоочищення води. У роботі розглянуто експериментальні результати визначення зміни сезонних показників гідрохімічного складу поверхневих вод в басейні річки Стрий.

Мета: визначення впливу гідродинамічно-активних ділянок (ГАД) гірських річок на процеси природного самоочищення та розробка методики лабораторного моделювання цих ділянок для визначення гідрохімічних показників річкових вод.

Методика реалізації: Дослідження еколого-гідрохімічних факторів формування хімічного складу природних вод басейну річки Стрий поєднує басейновий і ландшафтно-геохімічний підходи, що дозволяє інтегрально співставити різноманітні природні та антропогенні впливи, виділити найважливіші параметри для проведення їхнього детального аналізу. Поєднання цих підходів дало можливість вдосконалити методику екологічного аналізу площі басейну р. Стрий, яка дозволяє просторово диференціювати та гідрохімічно інтегрувати фактори формування хімічного складу природних вод.

Результати: Вказано, що особливою проблемою є мікробіологічна безпека води, оскільки навіть вода з підземних джерел може містити поодинокі клітини патогенних мікроорганізмів, однак основну загрозу становить вода, повторно забруднювана мікробами у випадку порушення герметичності водопровідної мережі.

Висновки: Аналіз результатів проведених досліджень впливу процесів самоочищення в річці Стрий на якісні показники води водозбору м. Стрий показав, що зараз відсутні негативні впливи річкових вод басейну р. Стрий на родовища підземних вод. Якість річкової води є задовільною для її використання в господарсько-питному водопостачанні та для рекреаційних цілей.

Ключові слова: гірські потоки; процеси самоочищення; поверхневі води; кавітаційні явища; гідродинамічно-активні ділянки.

Вступ

Урбанізація суспільства, стрімкий розвиток переробних і виробничих галузей негативно вплинули на навколишнє середовище, зокрема на якість повітря та води. Незважаючи на менш помітні ніж впливи радіації чи миттєві загрози життю людей від природних катаклізмів, погіршення якості води та повітря мають дуже вагомий наслідок для здоров'я майбутніх поколінь. Вже зараз медичні дослідження у різних регіонах планети, включаючи й Україну, свідчать про суттєве погіршення загального стану здоров'я молоді, причиною

чому зазначають забруднення повітря та води. Особливої актуальності набувають дослідження, що спрямовані на вдосконалення існуючих і розробку нових технологій захисту та збереження довкілля, оскільки на даному етапі розвитку суспільства неможливо суттєво зменшити побутове і промислове забруднення води [1].

У резолюції Всесвітнього тижня води, проведеного в серпні 2011 р., запропоновано звернути особливу увагу на пошук високотехнологічних способів водоочищення та водопідготовки для досягнення необхідних стандартів якості води, оскільки проблема забезпечення населення чистою прісною водою стає все більш актуальною. Незважаючи на досить значний перелік фізико-хімічних методів очищення води від різноманітних забруднень все ще не існує досконалого, універсального та придатного способу для всіх видів забруднень. Особливо це стосується біологічного забруднення води, оскільки для шкідливої мікрофлори характерною є висока репродуктивна здатність. Пошуки сучасних технологій водопідготовки, які спрямовані на створення нових, більш досконалих технологій

✉ О.М. Яхно
oleg.yakhno@gmail.com

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

² Львівський національний університет природокористування, Дубляни, Україна

³ Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

водоочищення, все ще залишаються вагомим технічним завданням та суспільною проблемою [1, 2].

Інноваційні технології та розроблене обладнання для водоочищення мають повністю відповідати вимогам енерго- і ресурсозбереження, екологічної безпеки, а також бути економічно доцільними. Одним з напрямків таких технологій є ефективне використання кавітаційних явищ. Вода високої якості потрібна не лише для питних цілей, але й для технологічних процесів підприємств харчової промисловості та сільського господарства. Особливою проблемою є мікробіологічна безпека води, оскільки навіть вода з підземних джерел може містити поодинокі клітини патогенних мікроорганізмів, однак основну загрозу становить вода, повторно забруднювана мікробами у випадку порушення герметичності водопровідної мережі [3].

Зараз досить широкого поширення набули пристрої для високопродуктивної очистки води від будьяких видів забруднень за допомогою гідродинамічних генераторів. Використання кавітаційних генераторів для ефективного очищення води є новою перспективною, енергетично маловитратною, безвідходною кавітаційною технологією. Дослідження останніх років показали її ефективність, а на виході із таких пристроїв одержують чисту, незаражену воду. В процесі роботи гідродинамічних генераторів у воді виникають високоенергетичні ефекти холодного кипіння чи кавітації, які не тільки сприяють ефективному очищенню води, але й призводять до зміни її структури, посилення фізико-хімічної та біологічної активності. Важливим також є встановлення оптимальних режимів роботи гідродинамічного генератора для отримання активованої води. Проведені дослідження в роботі [2] вказують на доцільність застосування гідродинамічної обробки як альтернативного безреагентного методу очищення різних стоків.

Метод пневмогідралічного кавітаційного очищення води від біологічного забруднення належить до фізико-хімічних технологічних процесів водоочищення і може застосовуватись для знезараження біологічно забрудненої питної води, стоків хімічних, переробних та харчових підприємств від різноманітних забруднень. Цей метод належить до методів кавітаційного ініціювання та активації окиснювально-відновлювальних реакцій у рідинах енергією сплескування великої кількості самозароджуваних в рідині кавітаційних бульбашок [1].

Мета роботи

Визначення впливу гідродинамічно-активних ділянок (ГАД) гірських річок на процеси природного самоочищення та розробка методики лабораторного моделювання цих ділянок для визначення гідрохімічних показників річкових вод.

Методика досліджень

Еколого-гідрохімічних факторів формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий поєднує басейновий та ландшафтно-геохімічний підходи. Вона дозволяє інтегрально співставити найрізноманітніші природні і антропогенні впливи та виділити найважливіші параметри для проведення їхнього детального аналізу. Поєднання цих підходів дало можливість вдосконалити методику екологічного аналізу басейну р. Стрий, яка дозволяє просторово диференціювати та гідрохімічно інтегрувати фактори формування хімічного складу природних вод.

Для перевірки результатів теоретичних і натурних досліджень запроєктовано та вдосконалено діючу експериментальну установку, яка забезпечувала умови для моделювання течії на ГАД гірських річок згідно із законами теорії подібності і принципами гідродинамічного моделювання [4]. На основі результатів аналізу натурних спостережень на передгірських ділянках річок, а також нормативної та проектної документації були визначені межі значень основних діючих факторів, а саме число Фруда, глибина потоку та швидкість течії, які є визначальними під час дослідження впливу ГАД на процеси самоочищення потоку.

Результати досліджень та їх обговорення

За багатьох змін значень стоку, похилу та матеріалу порід, що піддаються розмиванню, гірські потоки звиваються, утворюючи басейни та переكاتи в кожному повному меандрі (рис. 1) [5].

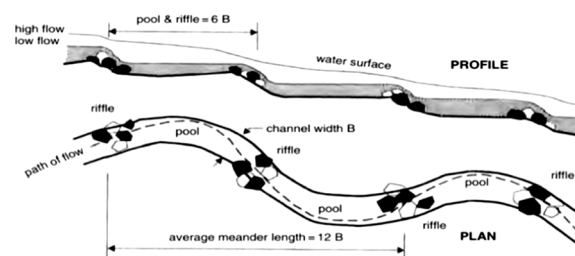


Рис. 1. Середні розміри меандрів, басейнів та переكاتів [5]

Гірська річка протікає переважно в горах у вузькій, глибокій долині з крутими берегами і кам'янистим руслом, загроможденим уламками гірських порід. Для гірських річок характерні великі похили і швидкість течії, незначні глибини, часті пороги та водоспади, переважають розмивні процеси. Похили гірських річок становлять 60–80 м/км у верхів'ях та 5–10 м/км у низинах. Швидкість течії від 1 до 4,5 м/с і більше. На території України налічується понад 29 600 гірських річок, з них в Українських Карпатах – 28 000 [6].



Рис. 2. Гірська річка неподалік від витоків [6]

На перекатах або порогах потік розбивається на сегменти каменями та валунами, які створюють зони плавно прискорюваної течії над перешкодами і навколо них, за якими слідує турбулентні зони сповільнення та бічні вихори. Якщо потік падає через перешкоду або проходить через вузьку щілину між валунами, він часто досягає критичного стану, умови коли швидкість є максимальною для напору води, що існує над перешкодою (рис. 3). Критична глибина потоку виникає, коли вода проходить через перешкоду і дорівнює двом третинам верхнього напору. Критичну швидкість V_c можна обчислити як функцію глибини $V_c = (gd_c)^{1/2}$, де d_c – критична глибина потоку (м). Це також швидкість хвилі збурення в нерухомій течії на тій же глибині. Отже, плавні стоячі хвилі збурення повільно зміщуються вгору і вниз за течією в зоні критичного потоку, оскільки швидкість потоку вниз і швидкість хвилі збурення угорі рівні. Якщо вода продовжує прискорюватися через перешкоду, вона досягає надкритичної швидкості. Потік, що прискорюється, протікає вниз, утворюючи гладкий неглибокий шар води.

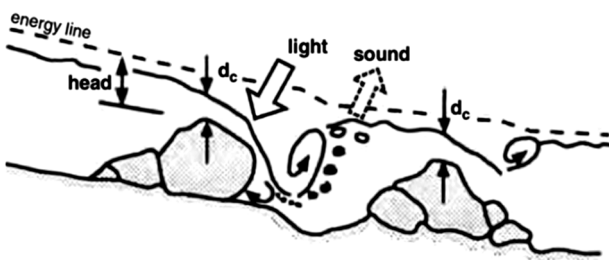


Рис. 3. Швидка зміна умови течії, яка спричинена великими каменями та валунами [5]

Надкритичний стан раптово припиняється, коли потік бурхливо повертається до підкритичних умов, коли він потрапляє в локальну нішу або заплаву з

більш повільною течією. Надкритичний потік проникає в заплаву, що рухається повільніше, утворюючи поверхневий вихор, із захопленням повітря, що є джерелом шуму в річці. Рівномірний потік не видає шуму, незалежно від його швидкості, але руйнуються бульбашки повітря, що потрапляють в потік, змушуючи дзюркотіти струмки і шуміти пороги [5].

Вибір характерної довжини потоку залежить від розміру досліджуваного явища. Глибина течії може бути використана при дослідженні великих вихорів. Коли числа Re стають нижче 2000 в'язкість води зменшує турбулентність і потік стає більш ламінарним. Числа Re значно перевищують 2000 в основній частині потоку, але біля межі русла може існувати дуже тонкий ламінарний шар. Товщина ламінарного примежового шару у потоці з гравійним дном глибиною 1 м та швидкістю течії 1,3 м/с є меншою 1 мм. Числа Фруда перевищують критичні значення у водоспадах і крутих руслах. Діапазони чисел Fr і Re , що спостерігаються в природному потоці від примежового шару, що оточує нерухомі об'єкти, до надкритичних порогів і водоспадів, знаходяться в межах глибини і швидкостей, показаних на рис. 4. Швидкості, глибини, числа Фруда (Fr) і числа Рейнольдса (Re), які зустрічаються за межами примежового шару в річках та струмках, зазвичай знаходяться нижче $Fr = 1$ і вище $Re = 2000$. Числа $Fr > 1$ зустрічаються локально в переповнених руслах та водоспадах [5].

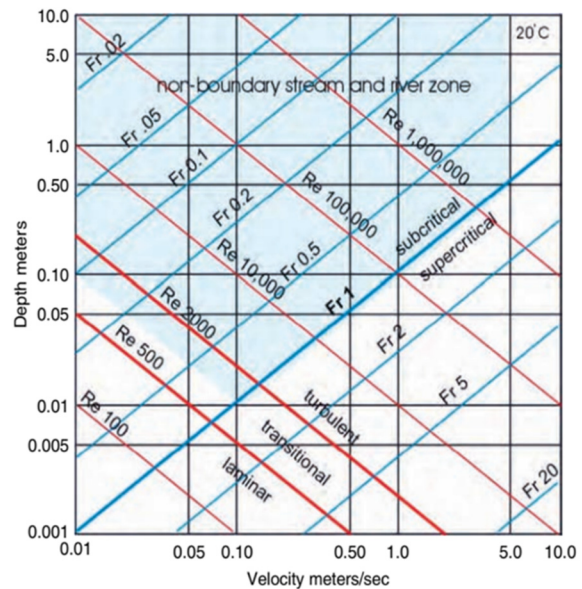


Рис. 4. Швидкості, глибини, числа Фруда (Fr) і числа Рейнольдса (Re) в гірських річках і струмках [5]

Значення Fr , Re та локальний вигляд потоку можна визначити шляхом вимірювання швидкостей і глибин у басейнах, перекатах і вихорах типового потоку. Якщо траєкторія високошвидкісних потоків потрапляє

у течію, що рухається повільніше, потік розділяється на кілька характерних ділянок (рис. 5). Найбільші зони у зворотних вихорах утворюються силою зсуву швидкої течії, коли вона проникає через повільний потік. Більш високі швидкості та більша складова кінетичної енергії швидкого потоку зменшують висоту води. Це викликає неглибокий градієнт та компонент швидкості до центру русла. Там, де швидкий потік розділяється перешкодою середнього потоку, утворюються чотири вихори: два з боків каналу і два менших вихори безпосередньо під перешкодою. Останні два вихори об'єднуються, щоб утворити єдиний потік, який опускається вниз, коли він наближається до нижньої сторони перешкоди. На рис. 5 показано вигляд швидкого потоку ($Re = 1\,050\,000$), що надходить до заплави, яка рухається повільніше ($Re = 80\,000$) і спричиняє поділ потоку та утворення зворотних вихорів. Великий валун розриває потік, утворюючи подвійний або підковоподібний вихор за течією. Частина потоку досягає критичної швидкості при проходженні через валун ($Fr = 1$) [7].



Рис. 5. Вигляд швидкого потоку, що надходить до заплави, яка рухається повільніше [7]

За руху бурхливих відкритих потоків спостерігається аерація, тобто насичення водних мас повітрям. Процес аерації починається внаслідок порушення поверхні рідини хвилювими утвореннями через нестійкість хвилювої форми руху на поверхні бурхливого відкритого потоку. Проникнення повітряних бульбашок у потік відбувається при сплескуванні каверн, що утворюються на поверхні потоку за рахунок пульсації вертикальної складової швидкості руху водних мас в поверхневому шарі, а також руйнування хвиль, коли кінетичної енергії водних мас, які вертикально переміщуються, достатньо для подолання роботи сил поверхневого натягу. Причиною процесу збурення поверхні відкритого потоку є вихід на поверхню примежового турбулентного шару, що супроводжується пульсаціями швидкості [8]. Розвиток цього шару на всю товщу

рухомої рідини визначає перехід потоку зі спокійного стану в бурхливий, який чисельно характеризують критичним числом Фруда, значення якого визначають з використанням енергетичного і хвилювого трактування критичного режиму течії [9]. Тому багато дослідників визначали критерій початку аерації через деяке число Фруда, що відповідає виникненню процесу аерації в бурхливому відкритому потоці.

Збурення на поверхні рідини, які мають складну просторову структуру, призводять до виникнення та розвитку аерації в поверхневих шарах. У деяких випадках бульбашки повітря можуть поширюватися на всю глибину потоку. Явище аерації необхідно враховувати під час розрахунку водоскидних гідротехнічних споруд. Динамічна нестійкість бурхливих відкритих потоків визначає деякі особливі форми руху рідини на водоскидах високонапірних гідровузлів. Це утворення системи хвиль, що перекочуються на швидкотоках досить великої протяжності, дискретний рух водних мас при скиданні потоків з гребенів високих гребель, явище гідравлічного стрибка. Адекватне якісне та кількісне прогнозування форм втрати стійкості водного потоку необхідне для покращення умов експлуатації та збільшення терміну служби при проектуванні гідротехнічних споруд [10]. Захоплення потоком повітря може значно збільшити його глибину, що негативно позначається на роботі безнапірних тунелів, якщо ступінь аерованості водного потоку та утворення стоячих хвиль при розрахунку не враховувалися. Також при аерації водного потоку змінюється картина динамічних навантажень на дно і стінки водоскиду, що може спричинити руйнування облицювання водоскиду [11].

За проектування конструкцій водоскидних споруд для перевірки інженерних рішень проводяться їх лабораторні випробування. Як показують вітчизняні та зарубіжні дослідження, гідравлічне моделювання водоскидних споруд узгоджується з результатами натурних спостережень лише за моделювання неаерованих потоків. Для сильно аерованих потоків результати натурних та лабораторних досліджень суттєво різняться, що знижує можливості перевірки проектних рішень моделюванням [12, 13].

Природному самоочищенню, за якого забруднення руйнуються до простих сполук, які надходять до загального біотичного кругообігу, піддаються всі водойми. Найбільш активно процеси самоочищення проходять в річках за наявності течії. При сильнішій течії та ще за значної ширини і глибини річки вона успішніше справляється із забрудненням. На підвищення дієвості природного самоочищення важливий вплив мають гідродинамічно-активні ділянки (ГАД) річок, де відбувається основне збагачення киснем водних потоків та активізуються біохімічні та біологічні процеси самоочищення річкової води. ГАД – це локальна природна чи штучна перешкода в руслі водотоку, а саме водоспад, валуни, перекати, пороги та їхні каскади. Швидкість процесів самоочищення природних водойм

залежать від кількості, складу та властивостей забруднювальних речовин. За скидання у річку незначної кількості неочищених чи недостатньо очищених стічних вод, починаючи від місця їх випуску, органічні речовини проходять біохімічне розщеплення. Невеликі річки майже по всій довжині, а великі на відстані до 60 км, практично виконують функцію очисної споруди [14, 15].

Процес самоочищення водойми від забруднень поділяють на дві стадії. Це розбавлення внаслідок перемішування забрудненого потоку об'ємом води та безпосередньо самоочищення. За течією річки розрізняють такі ділянки: випуску стічних вод; практично повного їх змішування із потоком води; найбільшого забруднення; відновлення, на якій завершується самоочищення. Інтенсивність цього процесу залежить від місця розташування природних водотоків та їх морфометричних характеристик, гідрологічного режиму, кліматичних умов, стану ґрунтів і рослинності, а також антропогенного впливу. Найбільш ефективний аеробний шлях самоочищення, що призводить в результаті до розпаду органічної речовини до вуглекислоти і води. При анаеробному розпаді трансформація речовин йде не до кінця, з утворенням маси проміжних продуктів розпаду, які самі можуть бути небезпечними забруднювачами (аміак, фенол та ін.). Найповніше вивчений процес аеробної трансформації. За аеробного циклу розпаду речовини працює більшість установок біологічної очистки стічних вод, де проходять практично ті ж процеси, що і в природі, тільки значно ефективніше [16, 17].

На водоспадах часто між потоком вільно падаючої води до водобійної ніші та скельним виходом гірської породи утворюється вільний простір, причиною формування якого є явища гідродинамічної кавітації і кавітаційної ерозії. Переважання галькових, валунних і брилових наносів в руслі річки обумовлює велику шорсткість дна, створює суттєві перешкоди на шляху водного потоку та сприяє кавітаційним явищам. За дуже великих похилів гірських річок формуються пороги-водоспадні русла, морфологічний вигляд яких визначається валунами та глибами різного розміру, а також наявними водоспадами. Діапазони похилів для різних гірських річок неоднакові, а гідродинамічні бар'єри розміщені лише в певних місцях, які називають ділянками кавітаційної обробки води та її насичення киснем (рис. 6).

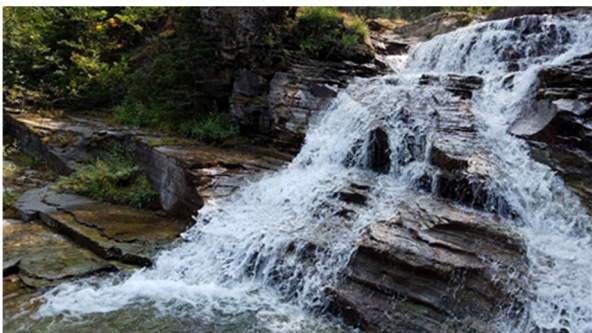


Рис. 6. Течія гірської річки через каскад водоспадів

Нами досліджено процеси природного самоочищення води на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок. Гідродинамічна кавітація в руслах гірських річок є явищем розриву суцільності води з утворенням кавітаційних мікробульбашок, заповнених водяною парою, киснем, азотом, яке спричинене зниженням тиску чи так зване "холодне кипіння" води [18]. Такому процесу сприяє порушення цілісності водного потоку та його кавітаційне розширення у випадку переходу на ділянку вільного падіння води. Це призводить до зародження та зростання розмірів кавітаційних мікробульбашок, їхнє стиснення, колапсування та саморуйнування, а також насичення води розчиненим киснем (рис. 7).



Рис. 7. Течія гірської річки в басейні Прикарпатського регіону

В басейнах гірських річок розміщені водозабори для забезпечення водою населення Львова, Стрия, Дрогобича та інших міст області. Тому дослідження процесів природного самоочищення та факторів, які на них впливають є актуальною проблемою для наукових досліджень. Лабораторні аналізи сезонної зміни гідрохімічного складу річкових вод та вплив кавітаційних явищ гідродинамічно-активних ділянок гірських річок на процеси природної самоочистки проводили в сертифікованих лабораторіях КП "Стрийводоканал".

Процеси природного самоочищення відбуваються дуже повільно та на значних ділянках від місця скиду стічних вод. В невеликих і особливо непроточних водоймах здатність до самоочищення є незначною та має свої межі. Вичерпування самоочисних властивостей внаслідок тривалого та надмірного надходження неочищених чи недостатньо очищених стічних вод призводить до забруднення водойми. Механізм та швидкості явища самоочищення в природних водоймах залежать від властивостей забруднювальних речовин і їх кількості. Коли у водойму скидається незначна кількість недостатньо очищених стічних вод (НОСВ), органічні речовини піддаються біохімічному розщепленню починаючи від місця їх випуску. Встановлено, що біоценози мікроорганізмів вздовж течії річки чітко розмежовуються на зони сапробності. Якщо стічні води (СВ) скидати в невеликі річки, то вони майже по всій довжині, а великі річки на відстані до 60 км виконують функцію очисної споруди [19].

Процес самоочищення (ПС) водойми від забруднень можна поділити на дві стадії, а саме розбавлення забрудненого потоку завдяки перемішуванню з об'ємом води водотоку та безпосередньо самоочищення. В проточній водоймі стічні води разом із річковою водою, яка їх розбавляє, рухаються за течією річки. При цьому розрізняють такі зони: випуску СВ; практично повного змішування стічних вод із водою водойми; найбільшого забруднення та відновлення, де завершується ПС. Інтенсивність цього процесу залежить від місця розташування природних водотоків (географічний чинник), їх морфометричних характеристик (швидкості течії, глибини), кліматичних та мікрокліматичних умов, гідрологічного режиму, стану ґрунтів та рослинності, а також впливу людської діяльності (антропогенний фактор).

Індикатором стану всієї річкової мережі Західної України є стан малих річок Карпатського регіону. Серед основних причин деградації та забруднення малих річок є зміна гідрологічного режиму внаслідок замулення русел, екстенсивне використання водних ресурсів без врахування можливостей їх самовідновлення та самоочищення, а також використання старих технологій очистки промислових стоків, які є причиною антропогенного навантаження на річкові екосистеми. Малі річки це початкові ланки річкової системи, тому змінування їх режиму та якості води впливають на всю гідрографічну мережу. Вкрай важливо проводити спеціальні комплексні заходи для захисту малих річок від зменшення водності, забруднення і пересихання та спрямовувати їх на ліквідацію негативного впливу антропогенних факторів [19].

Нами проведено дослідження процесів самоочищення річки Стрий на ділянці від пункту спостереження смт. В. Синьовидне до місця її впадіння в р. Дністер за період 2016–2020 рр. Отримано залежності зміни показників хімічного складу річкової води спричинені антропогенним впливом (рис. 8–11). На рис. 8 показано зміну середньомісячних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2020 р. Спостерігаємо максимальну величину його зростання після скиду очищених стічних вод з очисних споруд (ОС) м. Стрий, але завдяки здатності річки до самоочищення значення БСК₅ стають відповідними до вимог ГДК у місці впадіння в р. Дністер.

Дослідження вказують на зменшення кількості розчиненого кисню спричинене антропогенним впливом урбанізованої території м. Стрий, мінімальне значення спостерігається після скиду з очисних споруд (рис. 9). Однак вони залишаються відповідними до гранично допустимих значень (ГДК). Аналіз багаторічних сезонних значень величин БСК₅, РК, азоту амонійного, нітритів та нітратів за 2016–2020 р. дозволили отримати залежності, які показані на рис. 10–11. На цих графіках бачимо постійний вплив скидів недостатньо очищених СВ після очисних споруд м. Стрий та поверхневого стоку з прилеглих територій, який спричиняє перевищення багаторічних значень БСК₅ (рис. 10) та зменшення вмісту розчиненого кисню (рис. 11).

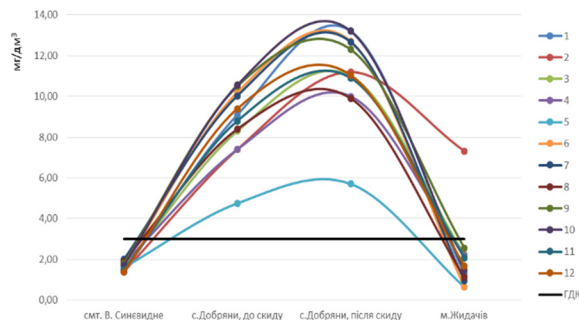


Рис. 8. Зміна середньомісячних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2020 р

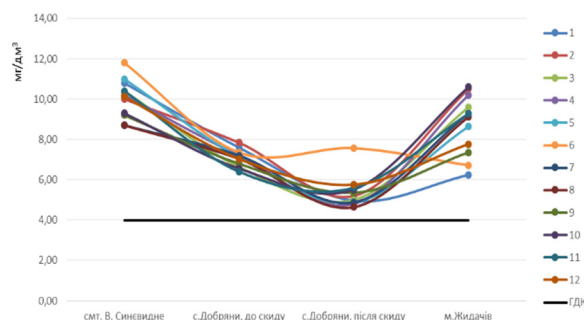


Рис. 9. Зміна середньомісячних значень розчиненого кисню (мг/дм³) за 2020 р

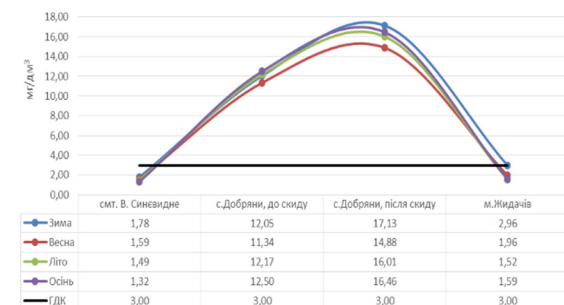


Рис. 10. Зміна багаторічних сезонних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2016–2020 рр

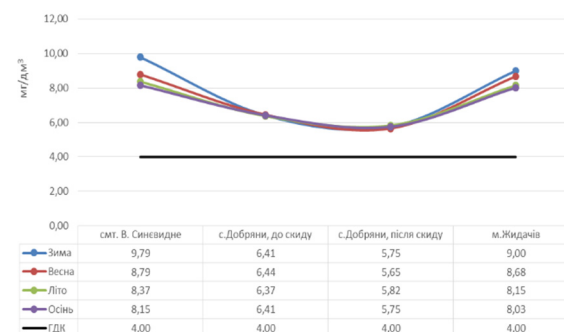


Рис. 11. Зміна середніх багаторічних сезонних значень розчиненого кисню (мг/дм³) за 2016–2020 рр

Наявність ГАД на гірських та передгірських ділянках річок Карпатського регіону сприяє процесам природного самоочищення природних вод. На базі лабораторії очисних споруд проводились дослідження факторів та умов формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий, а також ділянок значного антропогенного впливу. Це дозволило проводити більш детальний моніторинг якості природних вод басейну, зосереджуючи більшу увагу на виявлених проблемних ділянках негативного впливу.

Було встановлено, що в р. Стрий достатньо активно проходять процеси самоочищення, які спричинені гідрологічними характеристиками річки та наявністю гідродинамічно-активних ділянок на передгірських територіях басейну. Тому на даний час не спостерігається стійкого перевищення вмісту забруднюючих речовин відносно ГДК. Подальші дослідження структури

потoku дозволять запропонувати уточнені розрахункові залежності та сучасні наукові методики оцінки процесів самоочищення поверхневих вод і антропогенного навантаження в басейнах гірських річок для розрахунку оптимальних об'ємів скидів стічних вод з очисних споруд КП “Стрийводоканал”.

Висновки

Аналіз результатів проведених досліджень впливу процесів самоочищення в річці Стрий на якісні показники води водозабору м. Стрий показав, що зараз відсутні негативні впливи річкових вод басейну річки Стрий на родовища підземних вод. Якість річкової води є задовільною для її використання в господарсько-питному водопостачанні та для рекреаційних цілей.

References

- [1] V.L. Starchevskiy *et al.*, “Pneumohydraulic cavitation water purification from biological pollution”, *KHNTU JOURNAL*, No. 3 (42), pp. 405–413, 2011.
- [2] V.A. Kulagina *et al.*, “Features of the influence of cavitation effects on the physicochemical properties of water and wastewater”, *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies* 5, pp. 605–614, 2014.
- [3] L.I. Shevchuk *et al.*, “Efficiency of cavitation water purification depending on the nature of bubbling gas”, *Bulletin of KrNU – Kremenchug*, No. 2, (97), pp. 102–109, 2016.
- [4] V. Snitynskiy *et al.*, “Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes”. *Journal of Ecological Engineering*, No. 22(9), 129–135, 2021. <https://doi.org/10.12911/22998993/141385>
- [5] Richard Hauer F. and Gary A. Lamberti, “Methods in Stream Ecology (Second Edition)”, Academic Press Academic, 2007. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-332908-0.X5001-3>
- [6] Ghirsjka richka [Online]. Available: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гірська_річка
- [7] M.S. Panfil and R.B. Jacobson, Hydraulic modeling of in-channel habitats in the Ozark Highlands of Missouri: Assessment of habitat sensitivity to environmental change. 1999. (view this document online at: <http://www.cerc.usgs.gov/rss/rfmodel/>)
- [8] O.V. Pavlova and V.S. Borovkov, “Analiz usloviy vznikoveniya aeratsii otkrytykh potokov”. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*, No. 5, pp. 169–175, 2013.
- [9] Yu.V. Bryanskaya and A.V. Ostyakova, “Analysis of the conditions for the occurrence of a critical flow regime in a wide open stream”, *Vestnik MGSU*, No. 3. pp. 190–194, 2009.
- [10] Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures. Moscow: Energoatomizdat, 1988.
- [11] Zhiyong Dong *et al.*, “Cavitation characteristics of offset-into-flow and effect of aeration”, *Journal of hydraulic research*, Vol. 48. Iss. 1. pp.74–80, 2010. <https://doi.org/10.1080/00221680903566083>
- [12] V.P. Skrebkov, “Modeling of waste aerated flows in combination with energy-extinguishing structures”, *Hydrotechnical construction*, No. 3. pp. 45–49, 2012.
- [13] F.A. Bombardelli *et al.*, “Modeling and scaling of aeration bubble plumes: A two-phase flow analysis”, *Journal of hydraulic research*, Vol. 45. Iss. 5. pp. 617–630, 2007. <https://doi.org/10.1080/00221686.2007.9521798>
- [14] Yu.Z. Borutska, “Cavitation and aeration impact of hydrodynamic barriers on the quality of natural waters of the Stryi river basin”. *Scientific notes of TNPU. Series: Biology*, No. 3–4. V. 64. pp. 66–69, 2015.
- [15] D.E. Reid and E.J. Hickin, “Flow resistance in steep mountain streams”, *Earth Surface Processes and Landforms*, No. 33, pp. 2211–2240, 2008. <https://doi.org/10.1002/esp.1682>
- [16] K.M. Karpets, “Design factor relief-dependence self-cleaning permanent watercourses city of Kharkov”. *Man and the environment. Problems of neoecology*. No. 3–4, pp. 52–56, 2014.
- [17] V.V. Snitinskyi *et al.*, “Processes of self-cleaning under the influence of urbanization of territories in the foothills and plains of the Stryi River”. *Bulletin of LNAU: agronomy*, No. 25. pp. 30–34, 2021. <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.030>
- [18] V.V. Snitinskyi *et al.*, Changing the quality of natural waters in hydrodynamically active areas of mountain rivers. *Proceedings of the XXV International Scientific and Technical Conference “Hydroaeromechanics in Engineering Practice”*, October 6–9, 2020, Kyiv. pp. 256–259.
- [19] V.I. Grinyuk, “Investigation of self-cleaning processes of the right tributaries of the Svichi River in the Dniester basin”, *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, vol. 28, No. 3. pp. 77–82, 2018.

Influence of cavitation processes on river water purification of mountain streams

O. Yakhno, I. Hnativ, R. Hnativ

Problems: The article considers the study of the influence of cavitation phenomena in hydrodynamically active areas of mountain rivers on the processes of natural self-purification of water. The paper considers the experimental results of determining the change in seasonal indicators of the hydrochemical composition of surface waters in the Stryi river basin.

Objective: to determine the impact of hydrodynamically active areas (HAA) of mountain rivers on the processes of natural self-purification and to develop methods of laboratory modeling of these areas to determine the hydrochemical parameters of river waters.

Methods of implementation: Research of ecological and hydrochemical factors of chemical composition of natural waters of the Stryi river basin combines basin and landscape-geochemical approaches, which allows to integrate various natural and anthropogenic influences, to identify the most important parameters for their detailed analysis. The combination of these approaches made it possible to improve the method of ecological analysis of the area of the Stryi river basin, which allows to spatially differentiate and hydrochemically integrate the factors of formation of the chemical composition of natural waters.

Results: It is stated that microbiological safety of water is a special problem, because even water from underground sources may contain single cells of pathogenic microorganisms, but the main threat is water re-contaminated with microbes in case of leaks in the water supply network.

Conclusions: Analysis of the results of studies of the impact of self-cleaning processes in the river Stryi on the quality of water intake in Stryi showed that there are currently no negative effects of river waters of the river Stryi on groundwater deposits. The quality of river water is satisfactory for its use in domestic and drinking water supply and for recreational purposes.

Keywords: mountain streams; self-cleaning processes; surface waters; cavitation phenomena; hydrodynamically active areas.