

О. О. УХАНЬ¹, канд. геогр. наук, Ю. А. ЛУЗОВИЦЬКА¹, канд. геогр. наук

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України,
Проспект Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна

e-mail: ukhan_o@ukr.net
luzovitska@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4856-7175>

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНУ Р.ПІВДЕННИЙ БУГ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ САМООЧИСНОЇ ЗДАТНОСТІ

Мета. Провести інтегральну оцінку якості річок басейну р. Південний та дослідити здатність річок басейну до самоочищення.

Методи. Статистичні, системний аналіз.

Результати. Багаторічна динаміка значень інтегрального індексу (I_E) для річок Південного Бугу протягом періоду 2000-2016 рр. носила неоднорідний характер, проте загальна тенденція свідчила про незначне зростання його величин за рахунок санітарно-екологічного індексу (I_2) та індексу забруднення специфічними показниками (I_3). Найбільше забруднення води (за I_E) зафіксовано у пунктах спостережень м. Хмельницький та смт. Олександрівка. Для оцінки самоочисної здатності враховувалося гідрологічне районування басейну, згідно якого виділено три райони за типами внутрішньорічного розподілу стоку: Верхньобузький, Середньобузький та Нижньобузький. Отримані результати розрахунків коефіцієнту E_c для сполук неорганічного нітрогену для Верхньобузького та Середньобузького районів свідчать про неспроможність річок басейну Південного Бугу до самоочищення. Натомість, для сполук мінерального фосфору зберігається здатність до самоочищення. Використання непараметричного тесту Манна – Кендалла дозволило оцінити тенденцію багаторічної динаміки вмісту біогенних елементів для Нижньобузького гідрологічного району. Тренди сполук $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ та $P-PO_4^{3-}$ характеризуються позитивними значеннями статистичного параметру, що є свідченням зростання концентрацій зазначених елементів.

Висновки. Річки басейну Південного Бугу відповідають "доброму" стану та є "досить чистими". Основні еколого-гідрохімічні проблеми річки: забруднення біогенними елементами та показниками токсичної дії. Результати розрахунків коефіцієнта E_c свідчать про неспроможність річки Південний Буг (у верхній та середній частинах) до самоочищення. Оцінка тенденції щодо динаміки концентрацій біогенних елементів у межах нижньої ділянки р. Південний Буг визначено наявність висхідного тренду, тобто зростання їх концентрацій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інтегральний індекс, сполуки нітрогену, сполуки фосфору, самоочищення

Ukhan O. O.¹, Luzovitska Yu. A.¹

¹Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine, 37 Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE SOUTHERN BUG RIVER BASIN WATER QUALITY AND CALCULATION OF THEIR SELF-CLEANING CAPACITY

Purpose. To carry out the surface water quality assessment of the Southern Bug river basin and to investigate the ability of surface water to self-purify.

Methods. Statistical calculations, system analysis.

Results. The long-term dynamic of the integrated quality index values of the Southern Bug during 2000-2016 was heterogeneous, but the general trend indicated a slight increase due to the sanitary-ecological index and pollution index. The highest level of water pollution was observed in Khmelnytsky city and Alexandrovka settlement. To assess the self-purification capacity of surface waters, the hydrological zoning of the basin was taken. According to it three regions were identified by the types of intra-annual runoff distribution: Verkhnyobuzky, Srednyobuzky and Nizhnobuzky. The obtained results of E_c coefficient calculations for mineral nitrogen compounds show the inability of rivers to self-purify for Verkhnyobuzky and Srednyobuzky regions. Instead, the ability to self-purify is preserved for phosphorus compounds. Using the nonparametric Mann - Kendall test allowed to estimate the long - term trend of nutrients for the Nizhnobuzky hydrological region. Trends $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ and $P-PO_4^{3-}$ are characterized by positive values of the statistical parameter, which means the increasing of these elements' concentrations.

Conclusions. Rivers of the Southern Bug basin are classified as "good, clean enough". The main ecological and hydrochemical problems of the river are pollution by nutrients and indicators of toxic action. The results of the self-purification criterion calculations indicate their inability (in the upper and middle parts of the basin) to self-purification. Using of the nonparametric Mann-Kendall test for determining changes in nutrient compounds shows an upward trend, that means increasing of their concentrations.

KEYWORDS: integral index, nitrogen compounds, phosphorus compounds, self-purification

Ухань О. А.¹, Лузовицкая Ю. А.¹

¹Український гідрометеорологічний інститут ГСЧС і НАН України, Проспект Науки, 37, г. Київ, 03028, Україна

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕК БАСЕЙНА Р. ЮЖНЫЙ БУГ И РАСЧЕТ ИХ САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Цель. Провести интегральную оценку качества рек бассейна р. Южный Буг и исследовать способность рек бассейна к самоочищению.

Методы. Статистические, системный анализ.

Результаты. Многолетняя динамика значений I_E для рек бассейна в течение 2000-2016 гг. свидетельствует о незначительном росте его величин за счет санитарно-экологического индекса (I_2) и индекса показателей токсического действия (I_3). Наибольшее загрязнение воды (по I_E) характерно для пунктов наблюдений г. Хмельницкий и пгт. Александровка. Результаты расчетов коэффициента E_C для соединений неорганического азота для Верхнебужского и Среднебужского гидрологических районов свидетельствуют о неспособности рек бассейна к самоочищению. В то же время, для соединений неорганического фосфора эта способность сохраняется. Использование непараметрического теста Манна-Кендалла позволило оценить тенденцию многолетней динамики биогенных элементов для Нижнебугского гидрологического района. Тренды $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ и $P-PO_4^{3-}$ характеризуются положительными значениями статистического параметра, что свидетельствует о росте концентраций указанных элементов.

Выводы. Реки бассейна Южного Буга относятся к "хорошим, достаточно чистым". Основные эколого-гидрохимические проблемы реки: загрязнение биогенными элементами и веществами токсического действия. Расчет коэффициента E_C свидетельствует о неспособности речных вод бассейна (в его верховье и средней части) к самоочищению. Применение непараметрического теста Манна-Кендалла для определения изменений соединений азота и фосфора в пределах нижнего участка реки свидетельствует о восходящем тренде, то есть о росте концентраций указанных элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интегральный индекс, соединения азота, соединения фосфора, самоочищение

Вступ

На початку XXI століття водні ресурси набувають вирішального значення в економічній безпеці країн. Якісна питна вода - важливий економічний ресурс необхідний для розвитку людського суспільства. Господарська діяльність, що ведеться в межах водозборів річок призводить до негативного впливу на загальний стан водних екосистем.

Більшість водних об'єктів басейну р. Південний Буг активно використовуються у господарській діяльності, виступають як джерела водозабезпечення та приймальники промислових, комунальних та сільськогосподарських стічних вод. Незважаючи на те, що за останні 20 років використання води Південного Бугу вищезазначеними типами підприємств істотно зменшилось [1], загальна гідроекологічна ситуація в басейні залишається дещо напруженою.

Разом зі скидами промислових, комунальних підприємств до поверхневих вод надходять нафтопродукти, завислі речовини,

сполуки нітрогену та фосфору, феноли, пестициди, важкі метали тощо. Надмірне та неконтрольоване надходження зазначених елементів спричинює забруднення поверхневих вод – надлишок сполук нітрогену та фосфору призводить до евтрофікації; важкі метали накопичуються та стають джерелом вторинного забруднення; нафтопродукти та синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) спричиняють утворення нерозчинної поверхневої плівки, що несе небезпеку для гідробіонтів та людини [2] та, відповідно, призводить і до суттєвого погіршення якості поверхневих вод. На основі вище вказаного основною метою нашої роботи стала оцінка якості води річок басейну та визначення їх самоочисної здатності.

Потреба населення басейну Південного Бугу в чистій, придатній до вживання воді є одним з провідних напрямків розвитку регіону, а питання спроможності поверхневих вод басейну до самоочищення є досить

вагомим у сфері раціонального використання та охорони водних ресурсів.

Серед авторів, які займалися проблематикою антропогенного навантаження на поверхневі води басейну можна зазначити Захарову М.В. (встановлення екологічного стану річки в межах Миколаївської області, оцінка якості води для пункту м. Вінниця), Магась Н.І. (навантаження вод біогенними елементами). У монографія авторів [3] наведено результати інтегральної екологічної оцінки якості вод для окремих років за середніми та максимальними значеннями. Результати спільної роботи українсько-шведських науковців з оцінки екологічного стану поверхневих вод

річки, визначення головних водно-екологічних проблем та скринінгу пріоритетних забруднюючих речовин представлено у [4]. Стисло питання самоочищення р. Південний Буг розглянуто у роботі [5], а узагальнену інтегральну оцінку якості поверхневих вод за період спостережень 1989-2015 рр. подано у матеріалах [6].

В роботі більш детальну увагу приділено питанню самоочищення поверхневих вод саме для біогенних елементів. Застосування непараметричного тесту Манна-Кендалла для визначення тренду змін концентрацій біогенних елементів представлено вперше.

Об'єкти та методи дослідження

Басейн р. Південний Буг один з найбільших в Україні, що протікає виключно по її території в межах 7 адміністративних областей, в яких проживає близько 4 млн. чоловік, що становить 8% від загального населення України. В межах Вінницької та Хмельницької міських агломерацій розташовано підприємства легкої, харчової, машинобудівної промисловості. Також басейн Південного Бугу є одним з потужних аграрних регіонів - сільськогосподарські угіддя займають 81% його площі

Оцінка якості річкових вод басейну Південного Бугу виконувалася на основі даних спостережень за хімічним складом на мережі моніторингу ДСНС України протягом 2000-2016 рр. В якості методичної бази для виконання оцінки використовували [7]. Визначали інтегральний екологічний індекс I_E , індекс забруднення компонентами сольового складу I_1 , трофо-сапробіологічний (еколого-санітарний) індекс I_2 , індекс специфічних показників токсичної дії I_3 .

Методологія розрахунку самоочисної здатності поверхневих вод полягала у розрахунку хімічного стоку елементів (в нашому випадку це сполуки неорганічного нітрогену та фосфору) та його балансом між верхнім і нижнім створами. Стік розчинених речовин (R) для кожного створу розраховували за формулою: $R=W \cdot C$, де W – об'єм водного стоку, C – концентрація речовин. У разі отримання від'ємного значення балансу говорили про зростання винесення досліджуваних сполук, додатного – зменшення.

Для дослідження самоочисної здатності не досліджувався вплив окремих процесів, а застосовувався узагальнюючий

критерій ефективності самоочищення E_c , який характеризує інтегральний вплив усіх процесів і визначається за формулою:

$$E_c = \frac{R_v - R_n}{R_v} * 100$$

де R_v – величина стоку речовини у верхньому створі,

R_n – величина стоку речовини у нижньому створі.

Отримані від'ємні значення свідчатимуть про неспроможність поверхневих вод до самоочищення, позитивні – про інтенсивний перебіг самоочисних процесів [8].

Оцінка тенденцій динаміки концентрацій біогенних елементів виконувалася за допомогою шаблону Excel MAKESENS (тест Манна-Кендалла для оцінки тенденції та нахилу Сена). Даний тест є статистичною перевіркою, що широко використовується для аналізу тенденції в часових рядах. MAKESENS проводить два типи статистичного аналізу. По-перше, наявність монотонного зростаючого або спадаючого тренду перевіряється тестом Манна-Кендалла, а по-друге, нахил лінійного тренду оцінюється непараметричним методом Сена. Є дві переваги використання цього тесту. По-перше, це непараметричний тест і не вимагає нормального розподілу. По-друге, тест має низьку чутливість до різких перерв через неоднорідні часові ряди. Будь-які дані, що повідомляються як невиявлені, включаються шляхом присвоєння їм спільного значення, меншого за найменшу вимірювану величину в наборі даних [9].

Результати та обговорення

Інтегральна оцінка якості поверхневих вод. Результати розрахунків інтегрального та блокових індексів якості води у басейні р. Південний Буг за досліджуваний період наведено на рис.1.

Багаторічна динаміка значень I_E для басейну протягом досліджуваного періоду мала однорідний характер. Загальна тенденція свідчить про їх поступове зростання – з 3,0 у 2001 р до 3,4 у 2013 р. Так як інтегральний екологічний індекс дає можливість оцінити лише загальну екологічну ситуацію, для розуміння того, які саме складові екологічного індексу зазнали змін, нами було розглянуто динаміку кожного з окремих блоків індексу.

Коливання величини сольового індексу для поверхневих вод досліджуваного басейну були незначними – $3,0 < I_1 > 2,3$. Несуттєве зростання величини I_1 в період 2008-2011 рр. відбувалося за рахунок збільшення вмісту сульфатних та хлоридних іонів. Проведені дослідження зміни водного стоку в басейні за цей період свідчать про тенденцію до зменшення середньорічних витрат води, що, в свою чергу, вплинуло на процеси розбавлення. Для прикладу, у створі поблизу с. Олександрівка, що розташований найближче до гирла р. Південний Буг середньорічні витрати води зменшилися з 69 до 45 м³/с,

концентрації іонів SO_4^{2-} зросли з 75 мг/дм³ до 166 мг/дм³.

Коливання значень індексу I_2 в басейні Південного Бугу протягом досліджуваного періоду були досить неоднорідними та змінювалися в межах 3,1-3,8, що вірогідно пов'язано з поновленням господарської активності на фоні недостатньо якісного очищення господарсько-побутових стічних вод великих міст.

Досить відчутні зміни відбулися у динаміці індексу забруднення за показниками токсичної дії. Протягом 2007-2015 рр. його величина змінилася з 4,6 до 3,8 переважно за рахунок зменшення рівня забруднення важкими металами (ВМ) з 5 до 3 категорії. Надходження ВМ до природних вод відбувається переважно з недостатньо очищеними промисловими стічними водами, тому зменшення рівня їх забруднення є показником зменшення інтенсивності промислового виробництва.

В цілому, за значеннями інтегрального екологічного індексу річки басейну р. Південний Буг характеризуються як "добрі" за станом та "досить чисті" за рівнем забруднення.

Відповідно до середньорічних величин інтегрального екологічного індексу I_E річки басейну Південного Бугу розділено на 2 групи:

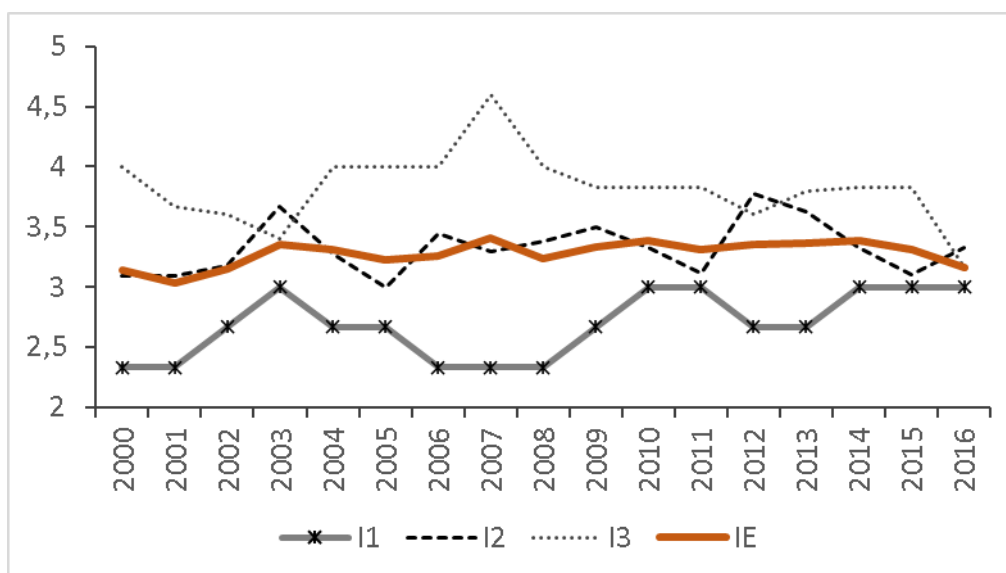


Рис.1 – Динаміка середніх значень I_1 , I_2 , I_3 та інтегрального індексу I_E для поверхневих вод басейну р. Південний Буг

Fig.1 – Dynamics of average values of I_1 , I_2 , I_3 and integrated I_E index for surface waters of the Southern Bug river basin

1) річки, у воді яких інтегральний індекс змінювався в межах $2,0 \leq I_E \leq 3,0$ (води характеризувалися як «дуже добрі, чисті») - переважна більшість річок басейну;

2) річки нижньої частини басейну, для яких інтегральний індекс якості перевищував 3,0 (води «добрі, досить чисті») - Мертвовід, Чорний Ташлик, Інгул.

Підвищені значення інтегрального індексу для річок другої групи пов'язані переважно з вищими показниками індексу $I_1 > 4$, що відповідає «задовільному» стану та «забрудненим» за ступенем чистоти водам (рис. 2).

Слід зауважити, що значення даного індексу більшою мірою обумовлені

природними умовами формування сольового складу поверхневих вод. Зональний характер розподілу мінералізації води та вмісту головних іонів (збільшення з півночі на південь) свідчить про те, що більшість річок південної частини України (в тому числі і річки нижньої частини басейну Південного Бугу – Кодима, Чорний Ташлик, Інгул та Мертвовід) мають більш високий показник індексу $I_1 - 4,0-5,6$.

При екологічній оцінці найбільш важливим є значення трофо-сапробіологічного індексу I_2 , розрахунок якого пов'язаний з великою кількістю хімічних і біологічних показників.

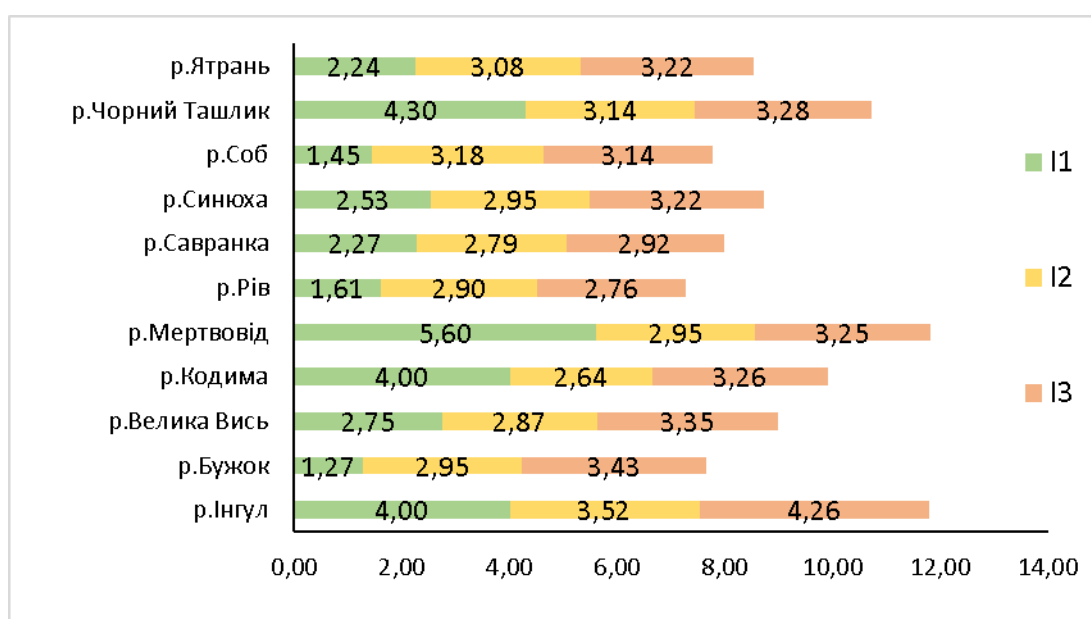


Рис. 2 – Середньобагаторічні значення блокових індексів для річок Південного Бугу, 2000-2016 рр.

Fig. 2 – Long-term average values of block indices for the rivers of the Southern Bug, 2000-2016

Згідно середньобагаторічних величин індексу I_2 річки басейну Південного Бугу були поділені на наступні групи:

1) значення I_2 і межах 2,6-2,9 були характерні для річок Кодима, Велика Вись, Савранка, Рів;

2) річки, для яких I_2 змінювався від 2,9 до 3,1 - Мертвовід, Бужок, Синюха, Ятрань;

3) річки, де I_2 більше 3,1 – Чорний Ташлик, Соб, Інгул.

Проведені дослідження показали, що різниця в значеннях індексу I_2 між річками в басейні Південного Бугу була несуттєвою (рис. 2), поверхневі води характеризувалися як «добрі, досить чисті». Основне забруднення було викликане наявністю підвищених

концентрацій мінеральних сполук нітрогену та фосфору (на рівні 4-5 категорії – «слабо- та помірнозабруднені» води), що, більшою мірою пов'язано з надходженням зі стічними водами комунальних підприємств та дифузним зливом від сільськогосподарських територій.

Джерелом надходження до природних вод складових компонентів індексу I_3 (важких металів, фенолів, нафтопродуктів та ін.) переважно є стічні води промислових підприємств. Саме тому найбільші величини індексу показників токсичної дії ($> 3,5$) зафіксовано у воді р. Інгул – м. Кіровоград (рис.2). Більшість річок басейну мали величину індексу I_3 в межах 3,2-3,5, а найменші значення - до 3,2

спостерігалися для річок Рів, Савранка, Соб, в межах басейнів яких не спостерігається скопчення великої кількості промислових підприємств. В цілому, за величиною індексу I_3 річки басейну Південного Бугу характеризуються як «добрі, досить чисті». Єдина відмінність спостерігалася в категорії компонентів забруднення. Якщо для більшості річок басейну забруднення важкими металами, нафтопродуктами, фенолами та синтетичними поверхнево-активними речовинами (СПАР) знаходилося на рівні 3-4 категорії (води «досить чисті або слабкозабруднених»), то для поверхневих вод р. Інгул забруднення цинком і фенолами було на рівні 5-6 категорії, що відповідало «помірно забрудненим і брудним» водам. Найімовірніше, це пов'язано з тим, що р. Інгул постійно приймає недостатньо очищені стічні води такого великого промислового центру, як м. Кіровоград.

Окрім проведеної типізації річок басейну за величинами блокових індексів також розглянуто закономірності їхніх змін за довжиною р. Південний Буг.

Найбільшим забрудненням (за величиною I_E) характеризуються поверхневі води верхів'я р. Південний Буг у зоні впливу м. Хмельницький та її нижньої течії у створі с. Олександрівка.

У першому випадку забруднення води пов'язано із тим, що м. Хмельницький є центром однієї з найбільших міських агломерацій (за рівнем урбанізації та індустріального зростання) західної частини України, а р. Південний Буг – приймальником його міських стічних вод. Води р. Південний Буг в межах впливу міста Хмельницький характеризуються як «дуже брудні» за вмістом мінеральних сполук нітрогену та фосфору (на рівні 7 категорії) і «слабкозабруднені» за вмістом важких металів і фенолів (4-5 категорія), величини відповідних індексів становили 4,2. Забруднення поверхневих вод р. Південний Буг в створі с. Олександрівка відбувається за рахунок важких металів, особливо Zn. Згідно даних [10] побудоване у руслі Південного Бугу вище від селища Олександрівське вдсх. активно використовується для гідроенергетики, як частина Південноукраїнського енергокомплексу, а одним з основних джерел надходження цинку до поверхневих вод є зливні та стічні води теплових електростанцій.

Підсумовуючи результати досліджень можна сказати, що основними еколого-

гідрохімічними проблемами р. Південний Буг є забруднення води біогенними елементами та показниками токсичної дії.

Самоочисна здатність поверхневих вод. Кількість речовин, що надходять у русло мережу з водозбірної території, під час транспортування до гирлової ділянки річки зазнають істотних змін за рахунок дії внутрішньоводоймових фізичних, хімічних та біологічних процесів. Внаслідок цього концентрації багатьох елементів суттєво зменшуються. Потенційна здатність водного об'єкта до зменшення вмісту розчинених і завислих речовин визначає його самоочищення [11,12].

Зважаючи на те, що переважна більшість притоків р. Південний Буг у мережі спостережень має лише один створ (що недостатньо для запланованих розрахунків зазначеним методом) для визначення використовувалися дані спостережень, отриманих на мережі Державної служби України з надзвичайних ситуацій по основних пунктах та створах безпосередньо р. Південний Буг. Для коректної оцінки враховувалося гідрологічне районування басейну, представлене у роботах [13,14], згідно якого виділено три райони за типами внутрішньорічного розподілу стоку: Верхньобузький, Середньобузький та Нижньобузький. Розрахунок виконано для кожного з вищенаведених районів для року, що найбільше відповідав 50% забезпеченості водного стоку.

Верхньобузький район охоплює верхів'я р. Південний Буг від витoku до Ладжинського водосховища. Для річок цього регіону в якості тестового обрано 2005 р. з середньобагаторічною $Q = 14 \text{ м}^3/\text{с}$. Серед пунктів, розташованих за течією Південного Бугу в межах зазначеного району, для розрахунків використовували дані гідрохімічних спостережень для міст Хмельницький, Хмільник та Вінниця.

Проведені розрахунки критерію E_c показали, що для р. Південний Буг в межах впливу м. Хмельницький спостерігається інтенсивне забруднення річки. Від'ємні показники коефіцієнтів ефективності самоочищення для біогенних елементів (NH_4^+ -650%, NO_3^- -335%, $P_{\text{мін}}$ -250%) свідчать про забруднення цієї ділянки річки та практичну відсутність процесів самоочищення.

Для р. Південний Буг в межах впливу міст Хмільник та Вінниця розраховані значен-

ня критерію *Ec* для сполук неорганічного нітрогену суттєво зменшилися, але залишалися у від'ємному діапазоні – для NH_4^+ -8%, для NO_3^- -5 -20%, для сполук мінерального фосфору величина *Ec* була позитивною і становила 10%. Суттєве зменшення *Ec* (у порівнянні зі значеннями, розрахованими для м. Хмельницький) може бути пов'язано з активним споживанням біогенних елементів вищими водними рослинами, фітопланктоном та фітобентосом. Крім того, в умовах високого вмісту розчиненого кисню у воді р. Південний Буг [15] важливим фактором зменшення концентрацій саме сполук нітрогену на цій ділянці річки є процеси нітрифікації, а також розбавлення за рахунок бічної приточності.

Для *Середньобузького району* (територія від Ладжинського вдсх. до с. Олександрівка) в якості розрахункового було обрано 2002 р. як середній за водністю з $Q=81 \text{ м}^3/\text{с}$; розрахунки проводилися для м. Первомайськ та с. Олександрівка.

Розраховані значення критерію ефективності самоочищення *Ec* для р. Південний Буг в межах впливу м. Первомайськ мають від'ємні значення -3% для амонійного та нітратного нітрогену, та додатні – 5% для сполук мінерального фосфору.

Балансові розрахунки стоку біогенних елементів у воді р. Південний Буг для с. Олександрівка неможливі за умови наявності лише одного створу спостережень. В якості альтернативного варіанту, для розрахунків *Ec* було використано дані стоку біогенних елементів у воді р. Південний Буг - м. Первомайськ, 8,2 км нижче міста та р. Південний Буг - с. Олександрівка, в межах селища безпосередньо. За результатами, від'ємне значення *Ec* спостерігалось лише для амонійного нітрогену і дорівнювало -13%, що свідчить про незначне пригнічення процесів самоочищення на зазначеній ділянці. Для решти сполук неорганічного нітрогену та фосфору

Згідно досліджень [10] на відтинку річки від м. Первомайськ до с. Олександрівка спостерігається сталий антропогенний вплив на водні ресурси за рахунок стабільної роботи Південноукраїнського енергетичного комплексу, а точніше надходження біогенних елементів до р. Південний Буг з водами Ташлицького вдсх., яке використовується як водойма-охолоджувач АЕС і характеризується високим вмістом неорганічного нітрогену.

Нижньобузький район охоплює нижню течію р. Південний Буг до її гирла.

Замикальним створом р. Південний Буг перед його впадінням до Дніпровсько-Бузького лиману є смт Нова Одеса. Дослідити очисну здатність поверхневих вод цієї частини річки шляхом розрахунку стоку біогенних елементів, складанням балансу їх винесення та подальшими розрахунками коефіцієнтів самоочищення неможливе через відсутність даних гідрологічних спостережень з 1988 року.

Саме тому, для оцінки зміни концентрацій біогенних елементів для р. Південний Буг - смт. Нова Одеса було використано непараметричний тест Манна – Кендалла з оцінкою достовірності тренду відповідно до рівняння Сена.

Розрахунки трендової статистики та побудова графіків проводилися за допомогою шаблону EXCEL MAKESENS [9]. Результати розрахунків представлено на рис. 3 та в таблиці 2. На діаграмі показані вихідні точки даних часового ряду, оцінка Сена для лінійного тренду, лінії для 95% довірчого інтервалу та залишки (residuals - дані мінус тенденція).

Як видно з отриманих результатів, для р. Південний Буг - смт. Нова Одеса спостерігається наявність висхідного тренду для сполук нітрогену та фосфору. Тренди N-NO_3^- , N-NH_4^+ та P-PO_4^{3-} характеризуються позитивними значеннями статистичного параметру (Test Z у табл. 2) – 0,23, 1,31 та 2,43 відповідно.

Абсолютна величина Z є порівнянням зі стандартним нормальним кумулятивним розподілом для визначення існування тенденцій на вибраному рівні α значимості – позитивне значення свідчить про тенденцію до зростання, негативне – про зменшення. У нашому випадку ці значення є позитивними, що свідчить про тенденції до зростання концентрацій біогенних елементів. Показник Q в табл.2 є оцінкою Сена для дійсного похилю лінійного тренду, тобто зміною за одиницю часу. Його значення має перебувати в межах від мінімального (Q_{\min}) до максимального (Q_{\max}) значень для обраного довірчого інтервалу (95% у нашому випадку). Величина В є константою, яка обчислюється за формулою при використанні метода Сена.

Пригирлова ділянка р. Південний Буг найбільше зазнає впливів згінно-нагінних явищ Дніпровсько-Бузького лиману, з чим, найвірогідніше, і може бути пов'язана зазначена динаміка сполук нітрогену.

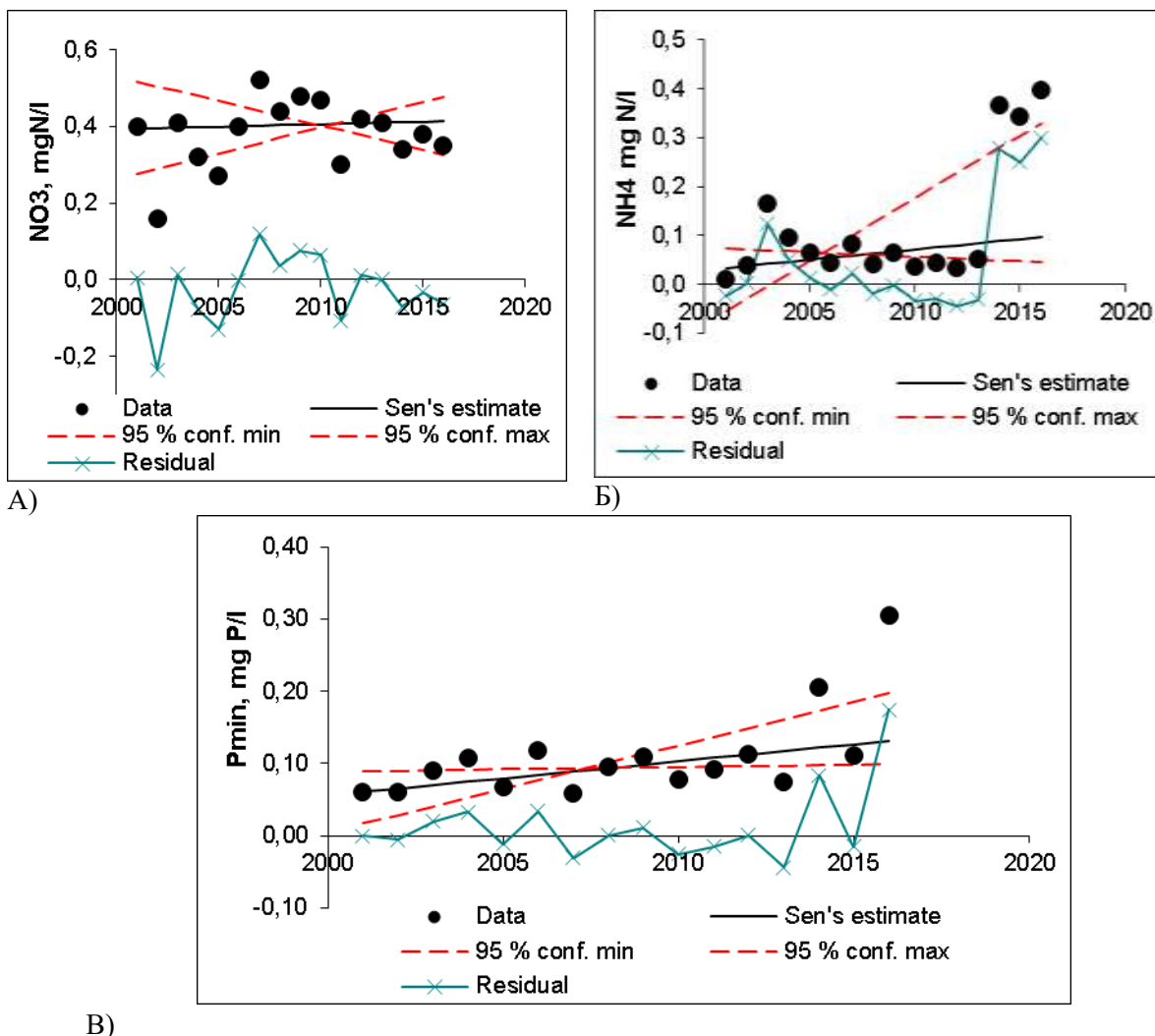


Рис. 3 – Аналіз тенденцій зміни нітрогену амонійного (А), нітратного (Б) та мінерального фосфору (В) у воді р. Південний Буг – смт. Нова Одеса з використанням тесту Манна-Кендалла
Fig. 3 – Analysis of trends in changes in ammonium nitrogen (A), nitrate (B) and mineral phosphorus (C) in the water of the Southern Bug - town. New Odessa using the Mann-Kendall test

Таблиця 2

Результати статистичних розрахунків у шаблоні EXCEL MAKESENS для сполук нітрогену та фосфору (р. Південний Буг – смт .Нова Одеса)

Table 2

Results of statistical calculations in the EXCEL MAKESENS template for nitrogen and phosphorus compounds (Southern Bug River - Nova Odessa)

Показник	Mann-Kendall trend	Sen's Slope Estimate					
		Test Z	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95
<i>NO3- mg N/l</i>	0,23	0,001	-0,013	0,014	0,39	0,52	0,28
<i>NH4 mg N/l</i>	1,31	0,004	-0,002	0,026	0,03	0,07	-0,06
<i>Pmin, mg P/l</i>	2,43	0,005	0,001	0,012	0,06	0,09	0,02

Висновки

Згідно проведених досліджень вода річок басейну р. Південний Буг відповідає "доброму" стану та є "досить чистою" за ступенем чистоти. Основні еколого-гідрохімічні проблеми річки – забруднення біогенними елементами та показниками токсичної дії – значення відповідних індексів перебували в межах 3-5 протягом багаторічного періоду досліджень.

Найбільш забрудненою є ділянка р. Південний Буг в межах впливу м. Хмельницький. За вмістом сполук нітрогену та фосфору води річки тут оцінюються як «помірнозабруднені» та «брудні» за рахунок скидів стічних вод від житлово-комунального господарства.

На підставі розрахунків критерію ефек-

тивності самоочищення Ес встановлено, що у верхній частині р. Південний Буг (м. Хмельницький – м. Вінниця) процеси самоочищення поверхневих вод від сполук нітрогену дещо уповільнені, про що свідчать від'ємні значення Ес. Самоочищення річки від сполук неорганічного фосфору спостерігається у середній течії в створі м. Первомайськ.

Застосування непараметричного тесту Манна-Кендалла для визначення тенденцій динаміки концентрацій біогенних елементів для нижньої ділянки р. Південний Буг свідчить про наявність висхідного тренду для сполук неорганічного нітрогену та фосфору, тобто зростання їх концентрацій.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Осадча Н.М. Нові дослідження екологічного стану водойм урбанізованих територій: Рецензія на монографію: ОВ Романенко, ОМ Арсан, ЛС Кіппіс, ЮМ Ситник «Екологічні проблеми київських водойм і прилеглих територій». *Наукові праці УкрНДГМІ*. Вип.268. 2016. С. 110-111. URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_268_17
2. Osadchuy V., Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha N., Nabyvanets Yu. Processes determining surface water chemistry. Springer International Publishing, Switzerland. 2016. URL:<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-42159-9>
3. Хільчевський В.К., Чунар'ов О.В., Ромась М.І. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу. К.: Ніка-Центр, 2009. 183 с.
4. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи/ За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. Київ: Вид-во ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 188 с. URL: https://mk-vodres.davr.gov.ua/sites/default/files/Bug_plan_final_2.pdf
5. Ухань О.О. Розрахунок коефіцієнта самоочищення поверхневих вод р. Південний Буг. *Теорія і практика сучасної науки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 24-25 лютого 2017 р.* Ч.ІІ. С.47-50.
6. Ухань О.А. Оценка качества поверхностных вод бассейна р. Южный Буг. *Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Брест, 25-27 сентября 2017 г.* Ч.1. С.212-215.
7. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк, О.П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. К.: СИМВОЛ-Т, 1998. 28 С.
8. Thongdonphum, B., Meksumpun, S., Meksumpun, C. Nutrient loads and their impacts on chlorophyll in the Mae Kong River and estuarine ecosystem: an approach for nutrient criteria development. *Water Science and Technology*. 2011. № 64.1. P. 178-187. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.515>
9. Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Amnell, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the excel template application MAKESENS. Publications on air quality. No. 31. Helsinki, 2002. 35 P. URL: www.researchgate.net/publication/259356944
10. Хільчевський В.К., Чунар'ов О.В., Ромась М.І., Яцюк М.В., Бабіч М.Я. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу. К.: Ніка-Центр, 2009. 183 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/2518357/>
11. Лузовіцька Ю.А., Кошкіна О.В., Осадча Н.М. Вплив водного стоку на формування виносу біогенних елементів в басейні р. Десни. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2014. Т.2. Вип. 33. С.37-45.
12. Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А. Аналіз чинників формування біогенного складу води річки Десна за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2017. Т.1. Вип. 44. С. 85–94.

13. Горбачова Л.О. Строки та тривалість періодів і сезонів водогосподарського року в басейні р. Південний Буг. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2013. Вип.265. С. 39-45. URL:https://uhmi.org.ua/pub/np/265/Gorbachova_Vasuleva_265.pdf
14. Гребін В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-Центр, 2010. 316 С. URL: http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/kafedra_gidrol_lit/10_n_lit_gidrol.pdf.pdf
15. Ухань О.О. Особливості просторово-часового розподілу головних іонів, органічних речовин та біогенних елементів за течією р. Південний Буг. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. №1-2 (25). С. 20-31. URL: http://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/76761

References

1. Osadcha N.M. (2016). New researches of ecological condition of reservoirs of urbanized territories: Review of the monograph: O.V. Romanenko, O.M. Arsan, L.S. Kipnis, Yu.M. Sytnyk "Ecological problems of Kyiv reservoirs and adjacent territories". *UHMI scientific works*, 268, 110-111. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_268_17 (In Ukrainian).
2. Osadchyy V, Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha N., & Nabyvanets Yu. (2016). Processes determining surface water chemistry. Springer International Publishing, Switzerland. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-42159-9>
3. Khilchevsky V.K., Chunaryov O.V., & Romas M.I. (2009). Water resources and river water quality of the Southern Bug basin. Kyiv, Nika-Centr. (In Ukrainian).
4. Afanasyev S., Peters A., Stashuk V., & Yaroshevich O. (2014). Management plan of the river basin of the Southern Bug: analysis of the situation and priority measures. Kyiv: Publishing House LLC "SPE" Interservice". Retrieved from https://mk-vodres.davr.gov.ua/sites/default/files/Bug_plan_final_2.pdf (In Ukrainian).
5. Ukhan O.O (2017). Calculation of the coefficient of self-purification of surface waters of the Southern Bug. *Proceedings of the international scientific-practical conference: Theory and Practice of Modern Science*, Brest, 2017, February 24-25 (pp. 47-50). Part II. (In Ukrainian).
6. Ukhan O.A. (2017). Assessment of surface water quality of the Southern Bug river basin. *Proceedings of the International scientific-practical conference*, Brest, 2017, September 25-27(pp. 212-215). (In Russian).
7. Romanenko V.D., Zhukinsky V.M., & Oksiuk O.P. (1998). Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories. Kyiv: SYMVOL-T. (In Ukrainian).
8. Thongdonphum, B., Meksumpun, S., & Meksumpun, C. (2011). Nutrient loads and their impacts on chlorophyll in the Mae Kong River and estuarine ecosystem: an approach for nutrient criteria development *Water Science and Technology*, 64(1), 178-188. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.515>
9. Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., & Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the excel template application MAKESENS. Helsinki, Finnish Meteorological Institute, Air Quality Research Publications. Retrieved from www.researchgate.net/publication/259356944
10. Khilchevsky V.K., Chunaryov O.V., Romas M.I. Yatsyuk M.V., & Babich M.Ya. (2009). Water resources and river water quality of the Southern Bug basin. Kyiv, Nika-Center. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/2518357/> (In Ukrainian).
11. Luzovitska Y.A., Koshkina O.V., Osadcha N.M. (2014). Influence of water runoff on the formation of nutrient removal in the Desna river basin. *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology*, 2(33), 37-45 (In Ukrainian).
12. Luzovitska Y.A., Osadcha N.M., Artemenko V.A. (2017). Analysis of factors formation of water biogenic composition of the Desna river by means of total and difference integral curves. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(44), 85-94. (In Ukrainian).
13. Horbacheva L.O., Vasilieva O.S. (2013). Terms and duration of periods and seasons of the water management year in the basin of the Southern Bug River. *UHMI scientific works*, 265, 39-45 Retrieved from https://uhmi.org.ua/pub/np/265/Gorbachova_Vasuleva_265.pdf (In Ukrainian).
14. Grebin V.V. (2010). *Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)*. Kyiv: Nika-Centr. Retrieved from http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/kafedra_gidrol_lit/10_n_lit_gidrol.pdf (In Ukrainian).
15. Ukhan O.O. (2016). Peculiarities of spatio-temporal distribution of major ions, organic substances and nutrients along the Southern Bug River. *Man, and the environment. Problems of neoeology*, (25). 20-31. Retrieved from http://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/76761 (In Ukrainian).

Отримана 18.01.2021

Переглянуто 24.02.2021

Прийнята до друку 25.03.2021