

УДК 556.11:556.531:614.777:574.5

*В. Г. Сінченко¹, А. М. Николаєв²,
Ю. В. Караван¹, М. М. Тураш¹
¹ДП "Науковий центр превентивної
токсикології, харчової та
хімічної безпеки імені академіка
Л. І. Медведя МОЗ України",
²Чернівецький національний
університет імені Юрія Федьковича*

ДО ВИКОРИСТАННЯ ВОДРОСТЕЙ ЯК ІНДИКАТОРІВ ЗАБРУДНЕНОСТІ ПРИ ГІДРОХІМІЧНІЙ ТА ЕКОЛОГО-САНІТАРНІЙ ОЦІНЦІ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ: ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСКОРДОННИХ РІЧОК ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Проведено аналіз ряду показників гідрохімічного та трофо-сапробіологічного блоків критерію якості води річок Прут, Сірет та Дністер. Здійснено класифікацію вод, визначено їх гідрохімічні індекси. Для окремих ділянок річок розраховано оптимальний коефіцієнт розведення води, величина якого характеризує гідрохімічну якість по відношенню до води мінерально повноцінного джерела питного водокористування. Представлено результати відносної оцінки показників трофо-сапробіологічного блоку. За ними встановлено просторові особливості зміни якості води в гідроекосистемі річок.

Стан річки Сірет оцінено за показниками критерію екологічної якості води. Параметри гідробіологічної складової визначено за індексом сапробності. В якості додаткового біоіндикатору використано угруповання фітоперифітону. Визначено категорії якості води відповідно до критеріїв, які зазначені в нормативних документах України. Звернуто увагу на високу інтегральну чутливість застосованого біоіндикатору до змін в гідроекосистемі річки.

Ключові слова: якість води річок Прут, Сірет, Дністер; біоіндикатори забруднення річкових гідроекосистем; оцінка якості поверхневих вод.

Results of determination of a number of indicators of hydrochemical and trophic-saprobiological blocks of the criterion of surface water quality of the rivers: Prut, Siret and Dniester are presented. Classification of the water bodies by categories has been carried out, their hydrochemical indices have been determined. For individual sections of the rivers an optimal breeding coefficient, which characterizes the chemical quality of a water was calculated. The values of the trophic-saprobiological block were used to assess the ecological state of investigated water bodies. According to the parameters, the spatial features of changes in water quality in the hydroecosystems have been established

The ecological state of the river Siret was estimated by the index of the criterion of ecological water quality. Parameters of the hydrobiological component are determined by the bioindicators, which is used as a phytoperiphyton group. The averaged water quality classes according to the quality criteria of the document Ukraine were determined. The high integral sensitivity of the applied bioindicators to changes in the hydroecosystem has been confirmed.

Key words: water quality of rivers Prut, Siret, Dniester; bioindicators of pollution of river hydro ecosystems; assessment of surface water quality.

Вступ. Зростання економічної діяльності у Чернівецькій області є неможливим без всебічної оцінки якості водних ресурсів. Така оцінка передбачена рядом діючих в області програм розвитку, зокрема щодо туристичної та рекреаційної галузі [10]. Показники якості є базовими при виборі технології підготовки води до споживання. Вибір здійснюється у відповідності до фактичної забрудненості водного об'єкту. Технологія підготовки повинна враховувати фактичні значення показників якості його води. Отримання інформації про стан води річок області, аналіз та прогнозування показників

якості є, таким чином, пріоритетним і актуальним завданням збереження здоров'я населення Чернівецької області.

На економічно нерозвинених територіях для забезпечення потреб у воді об'єктів інфраструктури та господарської діяльності перевагу доцільно надавати воді з поверхневих водних об'єктів. Умовою використання такої води є вилучення з неї наявних забруднювачів. Очищення води здійснюється з метою дотримання стандартів її якості. Питна вода має відповідати вимогам нормативних документів (НД), зокрема щодо вмісту і балансу мінеральних солей, мікроелементів та привнесених домішок [2]. Увагу слід зосереджувати на визначенні складу забруднювачів та чинниках, які призводять до його зміни. В практичній діяльності чинні в Україні методики контролю забрудненості, наприклад [5] не завжди використовують можливості гідробіологічної індикації. Особливої уваги потребують забруднювачі антропогенного походження, зокрема органічні сполуки, які часто є присутніми у воді в незначних концентраціях. При тривалій дії таких сполук, їх вплив на гідробіологічні об'єкти може відображатись у зміні гідробіологічних показників. Тому дослідження в галузі використання гідробіологічних методів, як доповнення до класичної фізико-хімічної оцінки якості води, становлять значний науковий і практичний інтерес.

Аналіз попередніх досліджень. Показники якості води, стан гідроекосистем, визначення екологічного статусу у відповідності до діючих в Україні та у державах ЄС стандартів і методичних підходів, в тому числі Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС, досліджувались у регіоні Українських Карпат для деяких великих річок та їх приток. Грунтовно вивчено р. Тиса [1], в меншій мірі р. Прут [14, 21] та, частково, р. Сірет [6]. Також останніми роками упорядковано багаторічні результати гідрохімічного моніторингу, здійснено вибіркового аналізу його даних, які стосуються води р. Дністер та її приток [3].

На території Чернівецької області, в її привабливій для рекреації гірській частині, протікають ріки Сучава, Черемош та верхня частина р. Сірет (далі зазначається р. Сірет). Також в ній знаходиться ряд малих річок. Системних, науково обґрунтованих досліджень щодо використання гідробіологічної флори як індикаторів антропогенного забруднення води та екологічного стану басейну водних об'єктів в Буковинських Карпатах і прилеглих територіях до теперішнього часу практично не проведено. Відомі окремі дослідження, які стосуються використання біологічної фауни, в якості індикаторів зміни стану поверхневих вод на теренах Чернівецької області, зокрема [13, 17].

Результати вивчення гідрофлори р. Дністер представлені в ряді робіт різних авторів. У ґрунтовному дослідженні [19] встановлено найбільш важливі показники екологічного стану її гідроекосистеми. В ньому, зокрема, визначено ряд особливостей розповсюдження різних форм водоростей вниз за течією. Головною метою дослідження є встановлення біорізноманіття гідроекосистеми р. Дністер. Основна увага приділена вивченню процесів відновлення промислових запасів біокормів для іхтіофауни. Ряд більш пізніх робіт, наприклад [16,18], значну частину яких складають також дослідження щодо біорізноманіття іхтіофауни, присвячено питанням розведення та відновленні цінних порід риб в акваторіях водосховищ, зокрема Дністровського. В той же час, питанням застосування досліджених об'єктів в якості біоіндикаторів фактичного чи потенційного забруднення води та басейнових територій р. Дністер достатньої уваги не приділено. Також у загальному впливі діючих на гідроекосистему факторів не виділено складову антропогенного забруднення, не вивчено її вплив на кількісні параметри, чисельність та біомасу водоростей і фітопланктону.

Гідрохімічну і гідробіологічну складові комплексного критерію оцінки екологічного стану гідроекосистем застосовано для встановлення параметрів стану басейну р. Сірет та її приток [20]. Однак, в цьому дослідженні також не представлено аналізу кількісних показників чутливості застосованого біоіндикатору до змін в гідроекосистемі в порівнянні з традиційними показниками гідрохімічного моніторингу.

Крім того, не вказано шляхи покращення показників якості з позиції отримання мінерально повноцінної питної води.

Мета і завдання. Метою роботи є оцінка якості води головних транскордонних річок Чернівецької області з точки зору потреб питного водокористування. В основу оцінки покладено порівняння встановлених показників вмісту забруднювачів та їх чинних в Україні допустимих рівнів (ДР) [2]. При встановленні категорії забрудненості води використано нормування, яке зазначене у НД [4] та у Водній Рамковій Директиві ЄС від 2000 року.

Завданням роботи було визначення гідрохімічних і гідробіологічних показників та якості води річок Чернівецької області. Завдання передбачало оцінювання чутливості показників до зміни стану гідроекосистем, визначення потреби корегування хімічного складу води, проведення аналізу гідрохімічної та гідробіологічної складової критерію визначення екологічного статусу і забрудненості гідроекосистеми річок та їх приток.

Методи та об'єкти досліджень. Для встановлення показників якості поверхневих вод застосовані методи фізико-хімічного, атомно-абсорбційного та біологічного аналізу сумісно зі стандартизованими методиками виконання вимірювань (МВВ). Вміст катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , карбонатів, гідрокарбонатів, перманганатне і біхроматне окиснення (відповідно далі в таблиці скорочено ПерМп ок. та БіХг ок.) визначались згідно МВВ, які наведені в [9]. Там же описані методи визначення гідрохімічних показників, які мають відношення до біологічних процесів у поверхневих водах. Вказані методи використано при визначенні гідрохімічної складової трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку показників критерію екологічного стану гідроекосистем. Для встановлення гідробіологічної складової критерію застосовано методи, які описані в [15].

Об'єкт дослідження – вода транскордонних річок Прут, Сірет та Дністер. Розташування створів відбору проб води було наступним. Створ №11 на р. Прут знаходився на околиці с. Оршівці, нижче за течією від випускного колектору споруд очищення стічних вод м. Снятин (Івано-Франківська область). За створ №12 служив пост спостереження Укргідрометеослужби у м. Чернівці. Створ №13 знаходився на відстані 7 км вниз за течією від випускного колектору очисних споруд підприємства "Чернівціводоканал". Місця відбору води з р. Сірет та її приток – 8 створів вздовж течії в населених пунктах від с. Долишній Шепіт до с. Кам'янка (створ №28). Створи №22 та 25 були вибрані в межах смт Берегомет і вище м. Сторожинець відповідно. Оцінка якості води р. Дністер здійснювалась у створах №31, який знаходився у 2 км вище м. Заліщики (Тернопільська область), (початок адміністративного кордону Чернівецької області), №32 – вище м. Хотин, (початок Дністровського водосховища) та №33 – 1 км вище м. Могилів-Подільський (Вінницька область). Основну експериментальну частину досліджень проведено в період з 2007 по 2015 роки в період літньо-осінньої межени. Факторами антропогенного впливу на гідроекосистеми річок була і є господарська діяльність промислових підприємств, життєдіяльність інфраструктури міст і приватних садиб в населених пунктах, які розташовані вздовж течії річок Прут, Сірет та Дністер, а також їх приток.

Основний матеріал, результати та їх обговорення: Проаналізуємо якість води в головних річках Чернівецької області: Прут, Сірет та Дністер. Розглянемо можливості використання води з позиції потреб споживання на об'єктах господарської діяльності. Бажані показники якості води, зокрема для питного водокористування при цьому не повинні досягати меж, які визначені ДР нормативних документів. В межах діючого законодавства України якісною питною, щодо балансу мінеральних солей, може вважатись вода, показники якої відповідають вимогам критерію фізіологічної повноцінності мінерального складу [2].

Розглянемо результати проведеного моніторингу та ряд даних літературних джерел [3]. В табл. 1 наведено значення гідрохімічних показників неорганічних сполук досліджених вод. Представлені дані є усередненими. Стосовно р. Сірет період

усереднення становив з 2007 по 2011 роки. Усереднення даних стосовно р. Дністер проведено за 1994 – 2009 роки. Результати, які відносяться до р. Прут, стосуються періоду з 2010 по 2015 роки. Різна тривалість та часові періоди дослідження обмежують можливості порівняння результатів. В даній роботі завдання порівняння ставилось лише між ділянками окремо для кожної із річок. Таким чином представлені гідрохімічні показники та розраховані в подальшому на їх основі параметри якості носять інформативний характер і стосуються лише інтервалів та періодів дослідження. Також, стосовно представлених даних, слід зазначити, що при виділенні маси іонів Na^+ і K^+ з результату їх загальної маси у водах р. Дністер і, частково, р. Прут, в табл. 1 використано відношення $\text{Na}^+/\text{K}^+ \approx 4,2$. Таке значення найчастіше використовується при хімічному аналізі поверхневих вод з незначною мінералізацією [8].

Таблиця 1

Концентрація основних складових хімічного складу води річок Прут, Сірет та Дністер в період літньо-осінньої межени

| Назва ріки, місце розташування та ноіер створу при відборі проби води | Найменування показника | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| | натрій, мг/дм ³ | калій, мг/дм ³ | кальцій, мг/дм ³ | магній, мг/дм ³ | хлориди, мг/дм ³ | сульфати, мг/дм ³ | гідрокарбонати, мг/дм ³ | жорсткість загальна, ммоль/дм ³ | мінералізація, мг/дм ³ |
| р. Прут, с. Оршівці, №11 | 18,6 | 4,3 | 59,4 | 10,9 | 29,6 | 36,2 | 198 | 3,9 | 357,0 |
| р. Прут, вище м. Чернівці, №12 | 16,3 | 3,8 | 57,2 | 10,8 | 23,2 | 33,8 | 201 | 3,8 | 346,1 |
| р. Прут, нижче м. Чернівці, №13 | 19,1 | 4,5 | 60,8 | 11,6 | 30,2 | 28,3 | 224 | 4,0 | 378,5 |
| р. Сірет, смт Берегомет, №22 | 7,7 | 1,9 | 56,3 | 7,4 | 11,2 | 30,5 | 204 | 3,4 | 319,0 |
| р. Сірет, вище м. Сторожинець, №25 | 8,4 | 2,1 | 69,7 | 8,7 | 12,1 | 31,3 | 194 | 4,2 | 326,3 |
| р. Сірет, с. Кам'янка, №28 | 9,7 | 2,4 | 87,2 | 10,7 | 14,0 | 32,0 | 235 | 5,3 | 390,7 |
| р. Дністер, вище м. Заліщики, №31 | 14,1 | 3,3 | 54,2 | 12,3 | 47,3 | 30,6 | 151 | 3,1 | 312,8 |
| р. Дністер, м. Хотин, № 32 | 27,7 | 6,6 | 69,5 | 13,7 | 46,4 | 71,5 | 176 | 4,6 | 411,4 |
| р. Дністер, вище м. Могилів-Подільський, №33 | 20,0 | 4,8 | 59,8 | 13,4 | 31,7 | 33,0 | 215 | 4,1 | 377,7 |

З табл.1 випливає, що води досліджених річок Прут, Сірет та Дністер за сольовим складом аніонів Cl^- , SO_4^{2-} та показником мінералізації (M_{10}), яка визначена як сума маси іонів, відносяться до II–III-ї категорій якості. Такі води оцінюються як «добрі» та «досить добрі». В контексті характеристики якості питної води розглянемо представлені дані сумісно з аналізом ДР групи показників згаданого вище критерію фізіологічної повноцінності. Середні значення ДР критерію можна трактувати як показники мінерально повноцінного джерела питної води. З даних табл. 1 також випливає, що на час проведення моніторингу концентрація більшості компонентів критерію, а саме катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , які визначають жорсткість загальну (ЖЗ), катіонів Na^+ , K^+ , а також гідрокарбонатів і пов'язаної з ними лужності загальної (ЛЗ), сухого залишку (СЗ) в досліджених зразках води не перевищує регламентовані значення, а часто знаходяться на межі їх мінімальних величин.

Показники дослідженої води та показники «мінерально повноцінного джерела», які визначені критерієм повноцінності, кількісно можна співставити наступним чином. Позначимо через X_X змінні індекси концентрацій критерію та розрахованих за їх допомогою показників. Індекс X_X відображає належність концентрації та показників до катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ і K^+ , а також параметрів критерію: СЗ, ЖЗ і ЛЗ. Між фактичними у досліджуваній воді з i -го джерела концентраціями iC_{XX} в мг/дм³, або ммоль/дм³ та

безрозмірними коефіцієнтами допустимого рівня концентрації (ДРК) – $i k_{XX}$, виконуються рівняння [11]:

$$i k_{Na} \cdot C_{Na} = 11, i k_{K} \cdot C_{K} = 11, i k_{J} \cdot C_{J} = 0,025, i k_{Ca} \cdot C_{Ca} = 50, i k_{Mg} \cdot C_{Mg} = 30, \\ i k_{F} \cdot C_{F} = 0,95, i k_{C3} \cdot C_{C3} = 350, i k_{ЖЗ} \cdot C_{ЖЗ} = 4,25, i k_{ЛЗ} \cdot C_{ЛЗ} = 3,5. \quad (1)$$

Співвідношення (1) вказують на можливість розрахунку значення коефіцієнтів $i k_{XX}$. Ці коефіцієнти для природних вод є різними. Таким чином, в задачі корекції мінерального складу води шляхом її випарювання, або композиції зі знесолоною водою, при розгляді води з багатокомпонентним вмістом солей слід встановити величину оптимального по групі показників, усередненого коефіцієнту ДРК – $i k_{cp}$. Критерій його встановлення доцільно визначити як мінімізацію суми квадратів відхилень коефіцієнтів $i k_{XX}$ від значення $i k_{cp}$. За такої умови величина $i k_{cp}$ буде визначатись як середнє арифметичне за групою показників.

Для природної води число наявних компонентів сольового складу n визначається їх кількістю, які за результатом хімічного аналізу виявлені з достатньо високою концентрацією. Компоненти, які присутні у воді в незначних кількостях, на етапі розрахунку можна не враховувати. В табл. 2 наведено значення коефіцієнту $i k_{cp}$ та його оцінку – середнє квадратичне відхилення (СКВ) $^{opk} s_{cp}$. Для їх встановлення використано співвідношення (1) і (2) (див. нижче). Представлені дані відповідають водам, які взято у створах кожної із розглянутих річок. Місця розташування створів зазначено вище. Розрахунок СКВ $^{opk} s_{cp}$ проведено за загальноприйнятим рівнянням, в якому сумування проводиться за всіма n наявними компонентами. Його аналітична формула має вигляд:

$$^{opk} s_{cp} = \{ [\sum i k_{XX}^2 - ((\sum i k_{cp})^2 / n)] / (n - 1) \}^{0,5}. \quad (2)$$

При розрахунках величини $^{opk} s_{cp}$ по співвідношенню (2) концентрація вважалась значимою, якщо вона перевищувала нижню межу визначення МВВ в 5 разів. У табл. 2 також наведені гідрохімічні індекси і дані про оптимальне для кожного створу значення коефіцієнту розведення $i d_{cp}$, який визначається як $i d_{cp} = 1 / i k_{cp}$.

При розрахунках представлених в табл. 2 величин, СЗ визначався як зменшене на величину добутку (0,4×концентрація гідрокарбонатів) значення мінералізації M_{10} . Результати розрахунків показали наявність змін у величині коефіцієнтів вниз за течією. Так, зокрема, у воді р. Прут мінімальне та максимальне значення коефіцієнту $i k_{cp}$ спостерігалось у воді створів нижче та вище м. Чернівці. Їх значення становили 1,3794 та 1,4836 відповідно. Незначну різницю між ними можна пояснити як достатньо високою якістю очищення стоків міста, так і значною водністю р. Прут. Для річки Сірет аналогічні величини коефіцієнту $i k_{cp}$ спостерігались у с. Кам'янка та с. Лукавці. Їх величина становить 1,7199 та 2,2849 відповідно. Коефіцієнт розведення $i d_{cp}$ для цих створів змінюється від 0,5814 до 0,4377. Для інших створів спостерігались проміжні значення.

Таблиця 2

Гідрохімічні індекси, значення коефіцієнтів $i k_{cp}$, $i d_{cp}$ та оцінки $^{opk} s_{cp}$ для води річок Прут, Сірет та Дністер

| Найменування показника | Значення показників для води в річках у створах за номерами | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | р. Прут | | | р. Сірет | | | р. Дністер | | |
| | №11 | №12 | №13 | №22 | №25 | №28 | №31 | №32 | №33 |
| Гідрохімічний індекс | $C_{II_0,36}^{Ca_3,9}$ | $C_{II_0,35}^{Ca_3,8}$ | $C_{II_0,38}^{Ca_4,0}$ | $C_{II_0,32}^{Ca_3,4}$ | $C_{II_0,32}^{Ca_4,2}$ | $C_{II_0,39}^{Ca_5,3}$ | $C_{II_0,31}^{Ca_3,1}$ | $C_{III_0,41}^{Ca_4,6}$ | $C_{II_0,38}^{Ca_4,1}$ |
| Коефіцієнт $i k_{cp}$ | 1,4533 | 1,4836 | 1,3794 | 2,2849 | 2,0449 | 1,7199 | 1,6638 | 1,1623 | 1,2946 |
| СКВ $^{opk} s_{cp}$ | 0,8499 | 0,8374 | 0,8018 | 1,9014 | 1,7014 | 1,4812 | 0,9077 | 0,6013 | 0,6880 |
| Коефіцієнт $i d_{cp}$ | 0,6881 | 0,6740 | 0,7250 | 0,4377 | 0,4890 | 0,5814 | 0,6010 | 0,8603 | 0,7724 |

З табл. 2 видно, що для всіх досліджених зразків води коефіцієнти ДРК перевищують величину 1,0. Це означає, що для наближення якості цих вод за вивченими показниками до мінерально повноцінних необхідне їх збагачення мінеральними солями. Найбільшої корекції потребує менш мінералізована вода р. Сірет, особливо у її верхній частині, меншої – води річок Прут та Дністер. Через незначну різницю показника M_{10} для води зазначених річок можна обґрунтовано припустити, що при підготовці води як якісної питної, витрати на корекцію концентрації солей будуть рівнозначними. Покращення води річок Прут, Сірет та Дністер через підвищення концентрації компонентів мінерального складу можна досягнути при застосуванні систем вакуумного випарювання.

Показники трофо-сапробіологічного блоку в еколого-санітарній оцінці визначають екологічну якість гідроекосистем та їх придатність для існування організмів. Аналіз цих показників дозволяє класифікувати поверхневі води за 8-ми категоріями забрудненості. Поряд з гідрохімічною оцінкою це дає змогу визначати та прогнозувати витрати на підготовку води для її використання у якості питної та у господарській діяльності. В табл. 3 представлено частину показників гідрохімічної складової трофо-сапробіологічного блоку. Загальний індекс цього блоку I_2 визначено як величину максимального значення відносної оцінки показників. Для її проведення використано перевідні функції, аналітичний вигляд яких наведено в [12]. Відносна оцінка показника азоту нітратного проведена із застосуванням класифікації та розрахункового співвідношення, яке використовується при визначенні оцінки азоту загального [7]. Результати представлені для води із трьох зазначених вище створів на кожній із річок. Відсутність для створу № 32 р. Дністер значення оцінок фосфору фосфатів та перманганатного або біхроматного окиснення, пов'язана із відсутністю даних про ці показники. Така відсутність інформації позначена, відповідно, символами (®) та (–).

Представлені у табл. 3 оцінки дають можливість зробити висновок, що в досліджені часові періоди вода річок Прут та Дністер в межах території Чернівецької, (а для р. Дністер частково і Вінницької) області відповідала V категорії якості, тобто була «посередньою». За ступенем забрудненості вода річок належить до «помірно забрудненої». Показники якості води р. Сірет у її верхній частині (до смт Берегомет) знаходились між III та IV категоріями. Така вода класифікується як проміжна між «досить доброю» та «задовільною». Нижче за течією, вище та нижче м. Сторожинець, її показники відповідають IV та початку V категорії якості. З деякими припущеннями воду на цих ділянках річки можна визначити як «задовільну». За класифікацією щодо ступеню забрудненості вода р. Сірет належить до категорій, які визначені як «досить чиста», «слабо забруднена» та «помірно забруднена».

Інформація про показники якості поверхневих вод, які традиційно визначаються при плановому моніторингу гідроекосистем, та їх аналіз часто не відображають ступінь забрудненості води. Інформація про специфічні показники часто є відсутньою. Це може призводити до запізненого реагування в системах технологічної підготовки води на зміну її початкової забрудненості. При експлуатації таких систем доцільно враховувати можливість антропогенного забруднення води сполуками як неорганічного, так і органічного походження. Частково вирішенню проблеми щодо повноти відображення забрудненості води може сприяти застосування біоіндикативних технологій. До переваг їх застосування слід віднести постійну присутність біоіндикаторів в гідроекосистемі, їх чутливість до широкого спектру забруднювачів та відносну простоту аналізу.

Особливістю біологічної індикації у водних екосистемах з використанням гідрофауни річок є висока чутливість водних організмів до тривалого впливу малих концентрацій забруднювачів води. Достатньо ефективним способом біоіндикації змін якості річкової води є дослідження просторово-функціональної організації іхтіофауни. Її різноманітності в річках Карпатського регіону, сприяють такі фактори, як незначна забрудненість та високий ступінь аерації води. Ці фактори забезпечують у воді достатньо високий вміст розчиненого кисню, дані про який для річок Прут, Сірет та Дністер

представлено у табл. 3. В той же час, аналіз динаміки видового складу та чисельності риб на певних ділянках водного об'єкту сумісно з показниками забрудненості, дає можливість оцінки його екологічного благополуччя. Це підтвердили дослідження іхтіофауни річки Прут як інтегрального показника погіршення стану, пригніченості водної екосистеми [13]. В результаті опрацювання даних багаторічних спостережень, які проведені регіональними підрозділами гідрометеослужби України, встановлено, що протягом останніх десятиріч у воді річки Прут зростали концентрації хімічних речовин, генезис яких пов'язаний з антропогенним чинником. Зокрема, у меженні періоди відбулись підвищення вмісту нітратного азоту, хлоридів і сульфатів на 100, 50 та 40 відсотків відповідно. Надходження у річкові води органічних речовин техногенного походження викликало підвищену витрату кисню, зменшення прозорості води і пригнічення розвитку бентальних та оксифільних організмів. Антропогенний пресинг став каталізатором регресії іхтіокомплексів р. Прут. Під його впливом відбулося зменшення чисельності більшості видів іхтіофауни та спрощення її видової різноманітності.

Таблиця 3

Значення та відносні оцінки деяких трофо-сапробіологічних показників та індексу I_2 води річок Прут, Сірет та Дністер

| Назва річки | № створу | Представлена величина | Найменування показника | | | | | | | | Індекс I_2 |
|-------------|----------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|--------------|
| | | | N-NH ₄ , мг/дм ³ | N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ | P-PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³ | перМп ок., (БіХг ок.) | БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³ | кисень О ₂ , мг/дм ³ | pH, од. рН | |
| р. Прут | 11 | Показник | <0,05 | 0,117 | 0,0046 | 0,126 | 5,44 | 3,60 | 11,2 | 7,30 | 4,79 |
| | | Оцінка | 1,00 | 1,00 | 1,87 | 2,56 | 1,72 | 4,79 | 1,00 | 1,50 | |
| | 12 | Показник | <0,05 | <0,113 | 0,0036 | 0,105 | 4,10 | 3,30 | 10,5 | 7,50 | 4,63 |
| | | Оцінка | 1,00 | 1,00 | 1,53 | 2,22 | 1,05 | 4,63 | 1,00 | 2,00 | |
| | 13 | Показник | <0,05 | 0,181 | 0,0058 | 0,067 | 4,93 | 4,10 | 10,3 | 7,40 | 5,03 |
| | | Оцінка | 1,00 | 1,00 | 2,16 | 1,46 | 1,47 | 5,03 | 1,00 | 1,75 | |
| р. Сірет | 22 | Показник | 0,04 | 1,340 | 0,0013 | 0,019 | 4,50 | 1,90 | 12,4 | 7,50 | 3,60 |
| | | Оцінка | 1,00 | 2,60 | 1,00 | 1,27 | 1,25 | 3,60 | 1,00 | 2,00 | |
| | 25 | Показник | 0,05 | 1,500 | 0,0060 | 0,020 | 4,20 | 2,14 | 12,3 | 7,30 | 4,02 |
| | | Оцінка | 1,00 | 3,00 | 2,20 | 1,33 | 1,10 | 4,02 | 1,00 | 1,50 | |
| | 28 | Показник | 0,05 | 1,520 | 0,0060 | 0,030 | 5,40 | 2,27 | 11,5 | 7,54 | 4,09 |
| | | Оцінка | 1,00 | 3,05 | 2,20 | 2,00 | 1,70 | 4,09 | 1,00 | 2,10 | |
| р. Дністер | 31 | Показник | 0,84 | 0,870 | 0,0120 | 0,090 | (27,2) | 3,10 | 11,1 | 7,83 | 4,68 |
| | | Оцінка | 4,68 | 1,00 | 3,20 | 3,80 | 3,44 | 4,56 | 1,00 | 2,77 | |
| | 32 | Показник | 0,67 | 1,320 | 0,0480 | (®) | (®) | 3,00 | 8,5 | 7,41 | 4,93 |
| | | Оцінка | 4,34 | 2,55 | 4,93 | (-) | (-) | 4,47 | 1,00 | 1,78 | |
| | 33 | Показник | 0,46 | 0,160 | 0,0290 | 0,091 | (15,4) | 3,80 | 15,0 | 7,50 | 4,89 |
| | | Оцінка | 3,80 | 1,00 | 4,30 | 3,82 | 1,57 | 4,89 | 1,00 | 2,00 | |

Біоіндикатори, які є альтернативою до гідрофауни, представлені гідрофлорою, зокрема фітопланктоном та водоростями. В якості параметрів біоіндикації при дослідженні водних ресурсів можна використати як зміни в різноманітності видів водоростей, так і зміну їх об'ємної чи поверхневої чисельності та біомаси. Використовуються і більш складні показники, наприклад індекс сапробності за Пантле-Букком, або Гуднайтом-Уїтлеєм. Для контролю за стабільністю забруднення води поверхневих водних об'єктів ефективним біоіндикатором можна вважати водорості бентосу та перифітону.

При проведенні досліджень води р. Сірет та її приток в якості біоіндикаторів забрудненості води було застосовано придонні та прикріплені форми водоростей. При цьому, використано такі їх показники, як поверхневу чисельність особин досліджуваних видів ^{bo}N та індекс сапробності ^{sp}I . Останній пов'язаний зі ступенем органічного забруднення води. Вибір саме цих показників ґрунтується на їх високій чутливості до якісних змін у водному середовищі. Опис методів визначення ^{bo}N та ^{sp}I представлено в [15]. Результати дослідження зазначених параметрів зведені в табл. 4. Там же наведені розраховані абсолютні значення величин відносного зменшення або приросту показників чисельності ^{bo}N та індексу сапробності ^{sp}I відносно показників референтного створу. Зміни гідрохімічних режимів вниз за течією визначені за коефіцієнтами ДРК для кожного зі створів та величинами їх зменшення. Для цього розраховані вирази:

$$|(^{bo}N_R - ^{bo}N)/^{bo}N_R|, |(^{sp}I_R - ^{sp}I)/^{sp}I_R|, |(i k_{cp}^R - i k_{cp})/i k_{cp}^R|. \quad (3)$$

Таблиця 4

Гідробіологічні показники і коефіцієнти ДРК – $i k_{cp}$ та відносні значення їх змін у воді р. Сірет

| Найменування показника | Назва ріки та місце розташування створу | | | | | | |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | р. Сірет, смт Бергомет | р. Сірет, с. Лукавці | р. Міхидра, с. Стара Жадова | р. Сірет, вище м. Сторожинець | р. Сірет, нижче м. Сторожинець | р. Малий Сірет, с. Сучевени | р. Сірет, с. Кам'янка |
| Чисельність – ^{bo}N , кл/м ² | 21913 | 23 122 | 12293 | 10525 | 4034 | 12401 | 6 491 |
| $ (^{bo}N_R - ^{bo}N)/^{bo}N_R $ | 0,0523 | 0,0000 | 0,4683 | 0,5448 | 0,8255 | 0,4637 | 0,7193 |
| Індекс сапробності – ^{sp}I | 1,45 | 1,38 | 1,45 | 1,48 | 1,70 | 1,57 | 1,80 |
| $ (^{sp}I_R - ^{sp}I)/^{sp}I_R $ | 0,0507 | 0,0000 | 0,0507 | 0,0725 | 0,2319 | 0,1377 | 0,3043 |
| Коефіцієнт ДРК – $i k_{cp}$ | 2,285 | 2,328 | 2,066 | 2,045 | 1,997 | 1,842 | 1,720 |
| $ (i k_{cp}^R - i k_{cp})/i k_{cp}^R $ | 0,0184 | 0,0000 | 0,1125 | 0,1216 | 0,1422 | 0,2088 | 0,2612 |

У виразі (3) величини $^{bo}N_R$, $^{sp}I_R$ та $i k_{cp}^R$ відповідно чисельність, індекс сапробності та коефіцієнт ДРК для води у референтному створі. Враховуючи значення показників та типологію геоморфологічної будови русла у верхній частині р. Сірет, в якості референтного визначено створ, який розташовано у с. Лукавці.

З табл. 4 видно, що показник поверхневої чисельності клітин має тенденцію до зменшення з можливими коливаннями в бік збільшення на окремих ділянках річки. Так, в смт Берегомет його значення становить 21913 кл/м². В створі вище м. Сторожинець значення показника становить 10525 кл/м². Нижче м. Сторожинець це значення зменшується в 2,6 рази, до 4034 кл/м². Далі, вниз за течією у с. Кам'янка, поверхнева чисельність збільшується до 6491 кл/м². Зміна індексу сапробності для цих же створів спостерігається в бік його збільшення. Значення індексу сапробності становить, відповідно, 1,45, 1,48 та 1,70, що вказує на погіршення умов існування живих організмів. Кратність зміни індексу сапробності, а разом з ним і його чутливість до дії антропогенного навантаження на гідро екосистему, є меншою, ніж у показника поверхневої чисельності. Наведені значення показників вказують на наявність негативних факторів впливу на гідроекосистему р. Сірет вниз за течією.

Розглянемо зміни у значеннях коефіцієнту ДРК вздовж русла річки Сірет. Із представлених у табл. 4 даних випливає, що цей коефіцієнт також має тенденцію до зменшення вздовж досліджуваних ділянок її русла. Значення коефіцієнту ДРК відображає

збільшення концентрації розчинних солей вниз за течією. У відносних одиницях таке збільшення поступово досягне значення 12–14 відсотків перед м. Сторожинець, та поза його межами вниз за течією. В межах с. Кам'янка збільшення відносного значення коефіцієнту ДРК досягає величини 0,2612 в порівнянні зі значенням у референтному створі.

Співставлення представлених в табл. 4 абсолютних значень відносних величин поверхневої чисельності клітин водоростей та коефіцієнту ДРК показує, що зменшення чисельності відбувається інтенсивніше, ніж відповідний їм приріст концентрації солей. Таким чином, показник поверхневої чисельності раніше, ніж зміна сольового складу, реагує на трансформацію в гідроекосистемі річки. Незначну залежність показника поверхневої чисельності від концентрації солей у р. Сірет підтверджують розглянуті відносні величини для створів на притоках р. Сірет: річок Міхидра та Малий Сірет. При практично однаковій кількості клітин значення мінералізації для цих створів різняться в 1,25 рази. В той же час, коефіцієнти ДРК води у цих же створах різняться в 1,86 рази. Таке співвідношення між змінами мінералізації та коефіцієнту ДРК вказує на переваги останнього при аналізі змін якості поверхневих вод.

Висновки. Результати моніторингових досліджень води річок Прут, Сірет та їх приток, а також аналіз показників з літературних джерел щодо р. Дністер, розраховані на їх основі коефіцієнти, індекси та категорії якості, дозволяють висловити стосовно водних ресурсів поверхневих вод Чернівецької області наступні положення:

1 Основні гідрохімічні показники води р. Прут, Сірет та Дністер не перевищують відповідні допустимі рівні їх безпеки і якості. Вода зазначених річок за рядом показників є наближеною до показників якісної питної води із фізіологічно повноцінним мінеральним складом. В досліджених водах вміст головних іонів та похідні від них показники відповідають воді з заниженим вмістом мінеральних солей. Покращення показників хімічного складу води р. Прут, Сірет та Дністер можливе шляхом її часткового випарювання. Кількість випареної води визначається встановленими коефіцієнтами розведення. При цьому, показники залишку води є оптимально наближеними до показників води «мінерально повноцінного джерела».

2 В результаті проведеної за показниками трофо-сапробіологічного блоку класифікації вод річок Прут, Сірет та Дністер визначено категорію їх якості. Встановлено вид показника, який визначає величину блокового індексу I_2 . В період проведення досліджень для річок Прут і Сірет таким показником було біологічне споживання кисню – БСК₅. У воді р. Дністер на адміністративному кордоні Чернівецької області визначальним є показник вмісту азоту амонію. У воді на початку Дністровського водосховища показником є азот нітратів. Нижче водосховища, у створі вище м. Могилів-Подільський, визначення індексу I_2 проводиться за показником БСК₅. Вода річок Прут та Дністер належить до «помірно забрудненої». Вода річки Сірет належить до «слабо забрудненої» у верхній частині течії з переходом до «помірно забрудненої» води у нижній частині української ділянки річки.

3 На прикладі р. Сірет застосування в якості біоіндикаторів чисельності водоростей бентосу і перифітону для діагностики забруднення гідроекосистем річок показало їх чутливість до змін у зовнішньому середовищі. При реєстрації невеликих змін, у зазвичай контрольованих гідрохімічних показниках стандартними МВВ, використання водоростей як біоіндикаторів дає можливість отримувати інформацію про наявність процесів, які призведуть в подальшому до видозмін у гідроекосистемах. Можливе пояснення такого явища, імовірно, криється у збільшенні впливу та накопиченні неконтрольованих антропогенних забруднювачів, концентрація яких зростає з віддаленням досліджуваних ділянок річки від референтних територій.

4 Практична цінність проведених досліджень полягає в твердженні того, що оцінку якості поверхневих вод за групою гідрохімічних показників доцільно доповнювати результатами біоіндикативних методів контролю. Такий підхід поряд з показниками

еколого-санітарного блоку є важливим для інтегральної оцінки забрудненості джерел питного та господарського водокористування. Отримані результати за вивченими змінами у гідроекосистемі р. Сірет, за допомогою водоростей придонних форм, вказують на додаткові можливості в оцінці якості води та доцільність такого роду досліджень для інших гідроекосистем. Таким чином, використання показника поверхневої чисельності водоростей може забезпечити діагностику змін в гідроекосистемі на їх ранніх стадіях.

Література

- 1 Афанасьєв С.О. Структура біотичних угруповань та оцінка екологічного статусу річок басейну Тиси/ С.О.Афанасьєв. – К., СП «Інтертехнодрук», 2006. – 101 с.
- 2 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Чинний від 2010–07–01].
- 3 Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокряцька та ін.; за ред. В.К. Хільчевського та В.А. Старука. – К.: Ніка – Центр, 2013. – 256 с.
- 4 Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика. КНД 211.1.4.010-94.- Затверджено наказом № 126 від 28.12. 94 р.
- 5 Емельянова В.П. Оценка поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям / В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, Т.Х. Колесникова // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеомздат, 1983. – Т. 88. – С. 119 – 129.
- 6 Караван Ю. В. Характеристика гідрохімічного режиму та оцінка якості води річок басейну Верхнього Сірету / Ю. В. Караван // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Вид. – во географічної літератури «Обрії». - 2012. – Т. 1 (26). – С. 102–107.
- 7 Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А.В. Грищенко, О.Г. Масенко, Г.А. Вертиченко та ін. – Харків: Укр. НДІ ЕП. – 2012. – 37 с.
- 8 Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебное пособие / А.М. Никаноров, Е.В. Посохов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 232 с.
- 9 Новиков Ю.В. Методы исследования качества воды водоёмов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. Ред. А.П. Шицковой.- М.: Медицина,- 1990. – 400 с.
- 10 Програма розвитку туризму в Чернівецькій області на 2016–2020 роки, затверджена рішенням IV сесії VII скликання Чернівецької обласної ради за № 20 – 4/16. – [чинна від 15.03.2016].
- 11 Сінченко В.Г. До питання корекції методом композиції мінерального складу при знесолюванні води з джерел локального водокористування в контексті фізико-географічного районування території / В.Г. Сінченко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористання. Науково-технічний журнал. Спеціальний випуск.- Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2014. – С. 15–23.
- 12 Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник. – К.: Ніка – Центр, 2001. – 264 с.
- 13 Соловей Т.В. Іхтіофауна Пруту як інтегральний показник антропогенної сукцесії водної екосистеми / Т.В. Соловей // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Ніка – Центр , 2002. – Том 2. – С. 192–196.
- 14 Соловей Т.В. Гідрохімічне районування річкових вод Прутського басейну / Т.В. Соловей // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Ніка – Центр, 2003. – Том 5. – С. 275–281.
- 15 Унифицированные методы исследований качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. – М. : СЭВ, 1975. – 185 с.
- 16 Худий О.І. Сучасний стан іхтіоценозів транскордонних водотоків Чернівецької області / Україна – Румунія: Транскордонне співробітництво. Збірник наукових праць. – Чернівці: Рута, 2007. – С. 209 -220.
- 17 Худий О.І. Созологічна характеристика іхтіофауни басейнів Дністра, Пруту та Сірету в межах Карпатського регіону України / О.І. Худий, Л.В. Худа // Сучасні проблеми теоретичної та прикладної іхтіології: Матеріали ІХ Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції, (Одеса 14–16 вересня 2016 р.). – Одеса: ТЕС., 2016. – С. 276–279.
- 18 Чередарик М.І. Екологічна характеристика альгофлори гідроекосистеми верхнього Дністра / М.І. Чередарик, О.І. Худий // Наукові основи збереження біологічної різноманітності. Тематичний збірник, вип. 4, 2002. – С. 107–110.

19 Экологическое состояние реки Днестр: Монография / Л.В. Шевцова, К.А. Алиев, О.А. Кузько и др. – К.: Редакция «Гидробиологического журнала», 1998. – 148 с.

20 Karavan J. The Determination of Anthropogenic Regressing of aquatic ecosystem of the Siret river basin by phytoplankton / J. Karavan, Yu. Yuschenko, T. Solovej // Journal of Water and Land Development. Volume 19, Issue 1, 2013. – P. 53–58.

21 Korchemlyuk M. Estimation of key pressures on Prut river basin in Ukrain / M. Korchemlyuk, L. Arkhyrova // Екологічна безпека, №1(19), 2015. – С. 41–45.

© В. Г. Сінченко,
А. М. Николаєв,
Ю. В. Караван,
М. М. Тураш

*Надійшла до редакції 20 листопада 2017 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук Л. М. Архипова*