

*В. М. Жук, завідувач сектору (ORCID 0000-0003-3132-9661)
Державне агентство водних ресурсів України, Харків, Україна*

МОНІТОРИНГ ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ

Проаналізовано сучасний стан системи моніторингу водних об'єктів, визначено основні завдання моніторингу. Досліджено методи отримання інформації про стан водних ресурсів. Визначено суб'єктів ведення моніторингу на водних об'єктах та водогосподарських системах. Встановлено, що система моніторингу вод є значно розгалуженою та відокремленою від кожного суб'єкта моніторингу, а програми моніторингу вод відрізняються одна від одної та часто дублюються. Враховуючи сучасні зміни щодо інтеграції України до Європейського Союзу, виконано аналіз адаптації вимог Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС до національних програм моніторингу вод. Для поверхневих вод програми моніторингу повинні охоплювати наступні характеристики: біологічні показники, хімічні та фізико-хімічні параметри, гідрологічний режим та морфологічні умови, а також специфічні синтетичні і несинтетичні забруднюючі речовини. Також визначається, які саме показники або групи показників якості води слід вимірювати для кожного виду водних об'єктів; приведена характеристика критеріїв визначення екологічного стану вод за фізико-хімічними, гідробіологічними та гідроморфологічними показниками якості води. Приведено характеристику програм діагностичного, операційного та дослідницького моніторингу вод. Основною відмінністю перспективної системи моніторингу є доповнення хімічного контролю біологічним, заснованим на біологічній індикації. Проведені експедиційні дослідження екологічного стану поверхневих водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець показали добре співвідношення результатів біологічної та фізико-хімічної оцінки якості поверхневих вод, що свідчить про практичну застосовність біологічних методів у визначенні екологічного стану водних об'єктів. Розробка нових програм моніторингу вод з урахуванням сучасних вимог є не тільки обов'язковою умовою проведення моніторингу поверхневих водних об'єктів і водогосподарських систем, але й грає значну роль в обґрунтуванні водоохоронних заходів та запобіганні загрози виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Ключові слова: Моніторинг вод, водні об'єкти, водогосподарські системи, екологічний стан, біологічні методи досліджень, показники якості вод, гранично-допустимі концентрації

1. Вступ

Зміни в навколишньому природному середовищі відбуваються під впливом природних і антропогенних факторів. Пізнання цих змін неможливе без вивчення антропогенних процесів на фоні природних факторів. В зв'язку з цим організовуються спеціальні спостереження за різноманітними параметрами довкілля та впливу на нього, які змінюються внаслідок діяльності людини. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його змін полягає сутність моніторингу.

Як галузь екологічної науки моніторинг довкілля ґрунтується на загальних екологічних законах і взаємодії з природничими, географічними та технічними науками. Його завдання полягає: у постановці та виробленні теоретичних засад практичного розв'язування проблем організації спостережень; науковому обґрунтуванні складу, структури мережі та методів спостережень за природними процесами і рівнем забруднення навколишнього природного середовища; виборі методів і методик оцінювання і прогнозування стану довкілля; розробленні рекомендацій щодо управління станом використання природних ресурсів.

Водогосподарські системи представляють собою сукупність пов'язаних між собою водних об'єктів, гідротехнічних, водопровідних, каналізаційних та інших

споруд, призначених для забезпечення раціонального використання та охорони вод, робота яких регулюється шляхом встановлення відповідних режимів водних об'єктів системи з урахуванням прогнозу водності.

Угода про партнерство і співробітництво між Україною і Європейським Союзом визначає зобов'язання щодо поступової гармонізації національного законодавства із законодавством ЄС, у тому числі щодо впровадження низки європейських стратегій у забезпеченні збалансованого водокористування, екологічно безпечного стану водних ресурсів, відтворення і збереження нормального функціонування водогосподарських систем. Основним документом, що встановлює структуру захисту і управління водними ресурсами для Європейського Союзу є Директива Парламенту і Ради Європи від 23 жовтня 2000 р., або Водна Рамкова Директива 2000/60/ЄС (ВРД) [1].

Враховуючи вимоги ВРД, водогосподарські системи можуть розглядатися як середовище життєдіяльності біологічного угруповання. У цьому випадку гідроморфологічні та фізико-хімічні показники відображають умови розвитку гідробіонтів і за своєю суттю доповнюють результати біологічних параметрів.

Необхідність удосконалення системи моніторингу вод пов'язана з тим, що існуюча система моніторингу ще не повністю відповідає міжнародним вимогам. Крім того, сучасна нормативна база оцінки якості поверхневих вод недостатньо інтегрується з нормативною базою передових країн світу. У багатьох своїх аспектах вона не лише не відповідає міжнародним стандартам, але і є малопоказовою. Первинні дані щодо стану водних ресурсів, одержані в ході існуючого моніторингу, часто залишаються без належного використання внаслідок відставання методичного забезпечення щодо їх обробки, узагальнення та аналізу. Наукові праці в цьому плані мають несистематичний розрізнений характер. Систематизація та аналіз доцільності застосування сучасних вимог ведення моніторингу в широкому спектрі наукових і практичних робіт з охорони водних об'єктів наразі є актуальним завданням.

Всебічний аналіз і врахування означених факторів потребує вирішення актуальної науково-прикладної проблеми з удосконалення системи моніторингу водогосподарських систем із застосуванням гідробіологічних методів оцінки якості вод з урахуванням сучасних умов та вимог.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Функціонування водного господарства невіддільне від водних ресурсів і водних об'єктів. В роботі [2] зазначається, що водогосподарські системи тісно пов'язані з річками та являють собою єдину систему з управління водними ресурсами. Також в роботі [3] зазначається, що екологічний стан водогосподарських систем залежить від кліматичних факторів. Але при цьому не розглядається антропогенний вплив точкових та дифузних джерел на екологічний стан водогосподарських систем.

Незважаючи на широкий спектр досліджень, присвячених різним аспектам функціонування водогосподарських систем, багато питань у цій сфері потребують більш детального аналізу, зокрема, щодо управлінських рішень в системі комплексного використання водних ресурсів, що базується на принципах їх інтегрованого управління за басейновим принципом [4]. В роботі [5] зазначається, що інтегрований підхід до управління водними ресурсами дозволяє збалансовано управляти та розвивати водні ресурси, враховуючи соціальні, економічні та природоохоронні інтереси. Але при цьому не враховується наявність техногенних факторів.

В роботі [6] розглядаються різноманітні, інколи конкуруючі групи і галузі економіки, що використовують і забруднюють воду. Але не звертається увага на можливості спільного використання водних ресурсів.

Згідно [7] наголошується, що інтегрований підхід управління водогосподарськими системами вимагає розробки методів оцінки екологічного стану водних ресурсів, які базуються на вимогах Водної Рамкової Директиви ЄС. Але не конкретизується можливість застосування гідробіологічних методів.

Враховуючи те, що країни-члени Європейського Союзу взяли на себе зобов'язання щодо впровадження низки спільних стратегій з питань охорони навколишнього природного середовища, ряд авторів [8, 9] присвячує свої роботи проблемним питанням імплементації ВРД. Так, в роботі [10] відображаються практичні шляхи впровадження положень ВРД, та приводиться критичний огляд роботи по запровадженню нових методів, та за підсумками десятирічного досвіду надаються відповідні рекомендації [11], але не приділяється увага особливостям кожної конкретної країни у впровадженні вищезазначених вимог. Рядом авторів [12, 13] пропонується методологія та інструменти для комплексної оцінки екологічного стану водних ресурсів, але приводяться лише фізико-хімічні методи досліджень. В [14, 15] приводяться результати моніторингу вод, але не досліджуються водогосподарські системи.

Таким чином, проведений аналіз публікацій стосовно зазначеної проблеми свідчить про те, що незважаючи на акцентування важливості інтегрованого підходу в управлінні водними ресурсами та моніторингу вод відповідно до ВРД, не завжди конкретизується можливість застосування гідробіологічних методів оцінки екологічного стану водних об'єктів, та не враховуються складові водогосподарських систем як природно-антропогенного комплексу. Виходячи з цього постає необхідність проведення порівняльної оцінки екологічного стану водогосподарських систем з використанням гідробіологічних та гідрохімічних методів досліджень на прикладі р. Сіверський Донець.

3. Мета та завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка пропозицій щодо удосконалення програми моніторингу водогосподарських систем з використанням гідробіологічних методів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

1. Визначити необхідність застосування сучасних змін у здійсненні моніторингу водогосподарських систем.
2. Дослідити використання гідробіологічних методів при оцінці екологічного стану водогосподарських систем.
3. Виконати порівняльну оцінку екологічного стану р. Сіверський Донець з використанням гідробіологічних та гідрохімічних методів.

4. Визначення необхідності застосування сучасних змін у здійсненні моніторингу водогосподарських систем

Зміни в навколишньому природному середовищі відбуваються під впливом природних і антропогенних факторів. Дослідження цих змін неможливе без вивчення антропогенних процесів на фоні природних факторів. В зв'язку з цим організовуються спеціальні спостереження за різноманітними параметрами довкілля.

ля та впливу на нього, які змінюються внаслідок діяльності людини. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його змін полягає сутність моніторингу.

Як галузь науки, моніторинг довкілля ґрунтується на загальних екологічних законах і взаємодії з природничими, географічними та технічними науками. Його завдання полягає: у постановці та виробленні теоретичних засад практичного розв'язування проблем організації спостережень; науковому обґрунтуванні складу, структури мережі та методів спостережень за природними процесами і рівнем забруднення навколишнього природного середовища; виборі методів і методик оцінювання і прогнозування стану довкілля; розробленні рекомендацій щодо управління станом використання природних ресурсів.

Моніторинг водогосподарських систем є важливим інструментом ефективного управління якістю водних об'єктів, своєчасного попередження виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на гідротехнічних спорудах, а також широкого інформування громадськості про стан і тенденції зміни водних ресурсів. Основним завданням налагодження системи моніторингу є одержання достовірної інформації про фактичну якість води та аналіз змін якості вод під дією антропогенних факторів.

Система моніторингу водогосподарських систем вирішує такі завдання:

- забезпечує спостереження за рівнем забруднення поверхневих вод за фізичними, хімічними та гідробіологічними показниками;
- вивчає динаміку вмісту забруднюючих речовин і виявляє умови, при яких проходять різні коливання рівнів забруднення;
- встановлює закономірності процесів самоочищення та самовідновлення, а також накопичення забруднюючих речовин у донних відкладеннях.

Методи отримання первинної інформації реалізуються через безпосередні спостереження на відповідних пунктах моніторингу (станціях, постах, створах). Такими є гідрологічні, метеорологічні, геофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні спостереження. Також використовуються дистанційні засоби спостережень, зокрема за допомогою прямих спостережень із супутників Землі, вертикальних зондувань, аерофотографічних і геофізичних зйомок, а також геостационарних спостережень.

Методи отримання вторинної інформації полягають в упорядкуванні та опрацюванні баз даних, одержаних за допомогою первинної інформації. Результати видаються у вигляді карт, таблиць та графіків. Також для акумулювання та узагальнення інформації застосовуються геоінформаційні системи [16].

Завдання моніторингу водогосподарських систем виконують різні відомства, так звані суб'єкти моніторингу: ДСНС (Держгідрометслужба), Мінприроди (Держекоінспекція), Держводагентство (басейнові управління та регіональні офіси водних ресурсів), Держгеонадра (державні геологічні підприємства), МОЗ (Держпродспоживслужба), Мінрегіонрозвитку (підприємства житлово-комунального господарства), Мінекономіки (державні сільськогосподарські підприємства) та їх органи на місцях.

За даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища у 2017 році [17], Державна гідрометеорологічна служба (ДСНС) проводить моніторинг гідрохімічного стану вод на 151 водному об'єкті, а також здійснює гідробіологічні спостереження на 45 водних об'єктах. Отримуються дані по 46 параметрах, що дають можливість оцінити хімічний склад вод, біогенні параметри, наявність зважених часток та органічних речовин, основних забруднюю-

чих речовин, важких металів та пестицидів. На 8 водних об'єктах проводяться спостереження за хронічною токсичністю води. Також визначаються показники радіоактивного забруднення поверхневих вод.

Державна екологічна інспекція (Мінприроди) відбирає проби води в місцях скиду забруднюючих речовин у водні об'єкти та отримує дані по 60 вимірюваних параметрах.

Державне агентство водних ресурсів проводить моніторинг річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водойм у межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем водопостачання, транскордонних водотоків та водойм у зонах впливу атомних електростанцій. Контроль якості води за фізичними та хімічними показниками здійснюється на 72 водосховищах, 164 річках, 14 зрошувальних системах, 1 лимані та 5 каналах комплексного призначення. Крім того, у рамках радіаційного моніторингу вод водогосподарськими організаціями здійснюється контроль вмісту радіонуклідів у поверхневих водах.

Підприємствами Державної геологічної служби здійснюється моніторинг стану підземних вод. У місцях моніторингу проводиться оцінка рівня залягання підземних вод (наявність), їх природного геохімічного складу. Проводяться визначення 22 параметрів, в тому числі концентрації важких металів та пестицидів.

Санітарно-епідеміологічна служба проводить спостереження за джерелами централізованого та децентралізованого постачання питної води, а також місцями відпочинку вздовж річок та водосховищ та здійснює хімічний аналіз підземних вод, які призначаються для питного споживання.

Проблемним питанням розгалуженої системи моніторингу водогосподарських систем є відокремленість суб'єктів моніторингу один від одного, відрізнєння програм моніторингу та дублювання деяких функцій і пунктів спостережень.

З метою врегулювання дій країн-членів Європейського Союзу в галузі водної політики прийнята Водна Рамкова Директива 2000/60/ЄС (ВРД), яка стала результатом домовленостей між рядом експертів, зацікавлених сторін та політиків щодо ключових принципів сучасного управління водними ресурсами.

У ВРД встановлені рамки захисту всіх водойм (включаючи внутрішні поверхневі води, перехідні води, прибережні води і підземні води), які попереджають подальше погіршення, захищають і покращують стан водних ресурсів та сприяють відновлювальному використанню води, заснованому на довгостроковій охороні доступних водних ресурсів. Заходи Директиви спрямовані на вдосконалення охорони та покращення водного середовища за допомогою конкретних заходів для поступового зменшення скидів, викидів і втрат небезпечних речовин. Загалом, Директива має на меті досягнення доброго стану всіх водойм.

ВРД встановлює основні рамки водогосподарської діяльності для запобігання подальшого погіршення якості водних ресурсів та досягнення ними доброго стану, що реалізується шляхом розробки та реалізації планів управління річковими басейнами [18].

Оскільки моніторинг стану поверхневих вод вимагає розробки та адаптації конкретних систем оцінки, вкрай важливо включення у програми моніторингу таких ключових критеріїв:

- оцінка відхилення спостережуваних умов від умов, які зазвичай можна було би спостерігати при референційних умовах;
- врахування природних та штучних змін навколишнього природного середовища;

- розрахунок діапазону природної мінливості та мінливості, пов'язаної з техногенною діяльністю якісних компонентів усіх типів водних об'єктів;
- забезпечення виявлення повного діапазону можливих впливів для надійної класифікації екологічного стану.

Для поверхневих вод програми моніторингу повинні охоплювати наступні характеристики: об'єм і рівень води або витрати води та екологічний і хімічний стан, а також екологічний потенціал водних об'єктів. Також визначається, які саме показники або групи показників якості води слід вимірювати для кожного виду водних об'єктів, дана характеристика критеріїв визначення екологічного стану вод за фізико-хімічними, гідробіологічними та гідроморфологічними показниками якості води.

ВРД містить комплекс вимог щодо вибору частоти спостережень, методики виконання вимірювання показників якості вод, забезпечення можливості коректного порівняння результатів спостережень різних країн, щодо подання результатів моніторингу та їх інтерпретації: визначення екологічного і хімічного стану та екологічного потенціалу водних об'єктів.

Для кожного басейну річки вимагається створення наступних програм моніторингу:

- діагностичного (або контрольного) моніторингу (переважно для оцінювання довгострокових змін у водних об'єктах в непорушених умовах та змін, які виникають через досить розповсюджену антропогенну діяльність);
- операційного (або робочого) моніторингу (переважно для об'єктів, що знають антропогенного навантаження, але для яких є ризик щодо виконання для них екологічних цілей);
- дослідницького (для суб'єктів, де причина будь-яких перевищень невідома, для з'ясування розмірів та впливу аварійного забруднення, а також для об'єктів, на яких контрольний моніторинг показує, що екологічні цілі навряд чи будуть досягнуті, з метою виявлення причин такої ситуації).

Діагностичний моніторинг проводиться для того, щоб оцінити довгострокові зміни, які спостерігаються як на фонових ділянках, так і на ділянках з вираженим антропогенним впливом. Інформація, отримана даним видом моніторингу, має визначати стан водних об'єктів та фонових ділянок (тобто тих, що не мають ризику небезпечення доброго екологічного стану).

Результати вказаної програми моніторингу мають використовуватися разом із процедурою оцінки антропогенного впливу, а також для розробки раціональної і ефективної мережі спостережень в Планах управління річковим басейном (ПУРБ). Програма діагностичного моніторингу запроваджується принаймні за рік до введення ПУРБ, або, за бажанням країни, може продовжуватись три роки поспіль. Надалі проводити контрольний моніторинг достатньо один раз на три цикли управління річковим басейном. Слід зазначити, що програма діагностичного моніторингу має бути гнучкою, оперативно переглядатися і вдосконалюватися відповідно до накопичених додаткових даних. З урахуванням поставлених завдань, система моніторингу має надати відповіді на три основні питання: де відбирати проби води, коли відбирати і які показники визначати.

Кількість пунктів спостережень має забезпечити надійну оцінку стану всіх поверхневих вод у межах кожного річкового басейну. Також має зберігатися рівновага між якістю інформації, що отримується на мережі спостережень, та її вартісними показниками. На водних об'єктах з одноманітними характеристиками або

антропогенного впливу допускається групування водних об'єктів за принципами типології або характеристиками антропогенної діяльності.

Серед показників діагностичного моніторингу мають бути параметри біологічного та загального фізико-хімічного стану, гідроморфологічні показники тощо. Серед біологічних параметрів потрібно обирати показові види, що відображають стан різних біологічних компонентів водних екосистем. До переліку досліджуваних фізико-хімічних показників мають бути включені ті, що характеризують загальні умови середовища, речовини із списку пріоритетних забруднюючих речовин, що скидаються в досліджуваний водний об'єкт, а також інші забруднюючі речовини, що надходять у значній кількості.

Для визначення необхідних пунктів спостережень та обрання досліджуваних показників моніторингу водогосподарських систем потрібно використовувати системний підхід, оснований на даних водокористування, місцезнаходження водокористувачів, кількісні параметри впливу, а також обсяг надходження забруднюючих речовин (дифузних або точкових джерел) до водних об'єктів.

Операційний моніторинг встановлюється для водних об'єктів, які перебувають під дією антропогенного тиску, приймають стічні води з речовинами зі списку пріоритетних забруднюючих речовин, а також ті, що за даними дослідницького моніторингу віднесені до зони ризику екологічного стану. Його метою є встановлення стану тих водних об'єктів, що визначені як такі, що зазнають антропогенного впливу і належать до групи ризику невиконання екологічних цілей, а також оцінити зміни їх стану в результаті виконання програм водоохоронних заходів. Даний тип моніторингу використовують для встановлення або підтвердження стану водного об'єкта, що зазнає ризику. Він зосереджений на найбільш показових параметрах, або тих, що чутливі до конкретного екологічного тиску.

Вибір пунктів спостережень залежить від характеру впливу: забруднення від значного точкового джерела, внаслідок дифузійного виносу або змін гідроморфологічних параметрів.

Для такого моніторингу важливим є питання точності визначення стану водного об'єкта, адже помилка в оцінках може призвести до недосягнення поставленої мети. В такому разі дотримуються залежності: чим більш значні і вартісні заходи заплановано застосувати, тим надійніші мають бути оцінки.

Дослідницький моніторинг запроваджують тоді, коли діагностичний моніторинг показує, що екологічні цілі не будуть досягнуті, а операційний моніторинг для з'ясування причин недосягнення вказаних цілей до цього часу не був встановлений, а також у випадках аварійних забруднень вод та коли причини перевищень складу забруднюючих речовин невідомі.

Програма даного типу моніторингу розробляється для окремих випадків. Вона може стосуватися одного водного об'єкта або його частини, окремих показників, що визначатимуться зі значно більшою частотою.

Результати цього типу моніторингу можна використовувати для інформування компетентних органів, щоб мінімізувати вплив аварійного забруднення, а також розробити заходи для досягнення доброго екологічного стану. Він також може передбачати аварійне попередження в разі випадкового забруднення джерела питної води. В цьому випадку його можна розглядати як частину програми заходів, що включають безперервне вимірювання окремих показників.

Зазначені принципи організації кожного типу моніторингу свідчать про те, що їх програми досліджень будуть значно відрізнятися.

Особливістю є використання референційних (початкових) умов водних об'єктів. Усі поверхневі водні об'єкти розбиваються на типи за рядом критеріїв. Для кожного типу встановлюються типоспецифічні гідроморфологічні, гідробіологічні та фізико-хімічні умови, які репрезентують величини відповідних елементів якості для такого типу водного об'єкту за умови відмінного екологічного стану.

5. Дослідження використання гідробіологічних методів при оцінці екологічного стану водогосподарських систем

Останнім часом у зв'язку з прийняттям ряду міжнародних угод, системи моніторингу поверхневих вод розвинених країн зазнали суттєвих змін – перехід від чисто хімічного контролю до біологічного, заснованого на системі біоіндикації. Біологічним контролем являється оцінка стану водних об'єктів із використанням біологічних властивостей та інших прямих вимірювань [19].

Біоіндикація заснована на тому, що мешканці водойм різним чином реагують на забруднення. Реакція може полягати у наявності чи відсутності виду, значеннях чисельності особин окремого виду тощо. Існує група дуже чутливих організмів, які у разі забруднення водойми першими зникають зі складу її населення – це індикатори чистої води. Діаметрально протилежною є група видів, які пристосовані до життя в дуже забруднених водоймах. Вони не тільки почувають там себе цілком комфортно, але і не можуть жити у чистій воді. Це витривалі види – індикатори значного забруднення. Поміж цими «екстремалами» знаходиться група помірно чутливих організмів. Цікавим є той факт, що кількість видів першої і другої груп незначна, тоді як помірно чутливих видів набагато більше.

Види, які використовують з метою оцінки якості води, називають біоіндикаторами. Це живі організми, які реагують на комплекс чинників навколишнього середовища своєю наявністю або відсутністю, зміною зовнішнього вигляду, хімічним складом, поведінкою, ступенем розвитку. Для біоіндикації якості середовища обирають ті види, що мають відносно вузьку «спеціалізацію», тобто живуть у досить неширокому діапазоні умов середовища. У разі організації та проведення екологічного моніторингу стану водойми використання біоіндикаторів зазвичай дає ціннішу інформацію, ніж оцінка забруднення хімічним методом або спеціальними приладами, які визначають лише окремі чинники забруднення. Натомість, види-біоіндикатори реагують на комплекс речовин-забруднювачів або загальні зміни зовнішніх умов.

Основною причиною переходу на біологічний контроль є той факт, що суспільства водних організмів відображають сукупний вплив факторів навколишнього природного середовища на якість поверхневих вод. Там, де критерії для визначення впливу не існують (наприклад, вплив джерела забруднення поза пунктом спостереження, деградація середовища існування), суспільства живих організмів можуть виступати єдиними практичними засобами оцінки таких впливів.

Кожну групу організмів можна використовувати в якості біоіндикаторів стану середовища, однак дуже важливо, аби метод був відносно малозатратним, швидким і не вимагав високої наукової кваліфікації. У цьому випадку найбільш прийнятною є методика оцінки якості води за допомогою складу макрозообентосу. В наш час відбувається активне вивчення можливостей використання як біоіндикаторів видів макрофітів, риб, а також мікроскопічних мешканців товщі води – фітопланктону та зоопланктону. Найточніші результати біоіндикації водойм дає вивчення організмів, які у разі змін комплексу умов середовища не здатні швидко і назавсім покинути біотоп. До таких належать, насамперед, вкорінені водні рослини – мак-

рофіти, а також тварини-мешканці дна водойми – макрзообентос. Це досить великі організми, які можна легко зібрати у водоймі та визначити до певного таксономічного рівня без збільшувальних приладів та спеціальної підготовки.

Для забезпечення співставлення результатів стану водних екосистем передбачається обов'язкове визначення таких біологічних показників як склад та чисельність водної флори та донної безхребетної фауни, склад, чисельність і вікова структура рибної фауни.

6. Порівняльна оцінка екологічного стану р. Сіверський Донець за гідробіологічними та гідрохімічними методами

За результатами проведених гідробіологічних досліджень на водних об'єктах басейну річки Сіверський Донець [20] встановлено особливості таксономічного складу фітопланктону Сіверського Дінця та його приток. У фітопланктоні і за багатством і за складом провідних родів домінували зелені, діатомові та синьо-зелені водорості. Вплив температури на швидкість розмноження фітопланктону зумовлює сезонні коливання розвитку чисельності різних груп водоростей. Також встановлено, що на характер просторового розподілу водоростей у водоймі впливає комплекс гідрологічних, кліматичних і антропогенних факторів, серед них: впадіння приток, створення водосховищ, стоки населених пунктів.

Одночасно простежується сезонність в розвитку фітопланктону. Загалом по всіх створах спостережень у червні провідна роль у формуванні кількісних показників фітопланктону поділялась між зеленими водоростями (Chlorophyta) (59-90% від загальної чисельності знайдених кліток) та діатомовими (Bacillariophyta) (58-92% від загальної чисельності знайдених кліток).

У липні почали з'являтися синьо-зелені водорості, які у серпні, з ростом температури повітря та води, стали домінувати, за виключенням створів р. Казенний Торець, 134 км, витік, с. Гродівка Красноармійського району та р. Сіверський Донець, 483 км, нижче впадіння р. Бахмут, с. Дронівка, де домінували діатомові та зелені відповідно.

У верхній та середній течії р. Сіверський Донець, а також у притоках - річках Оскіл і Казенний Торець найбільш різноманітно представлені зелені водорості (Chlorophyta) – до 24 видів, серед яких за кількістю видів домінує клас протококкових водоростей Protococcophyceae. Далі йдуть діатомові водорості (Bacillariophyta) – до 10 видів та синьо-зелені (Cyanophyta) – 9 видів. Інші відділи представлені значно меншою кількістю видів еугленові (Euglenophyta) – 3, жовто-зелені (Xanthophyta) – 2 та пірофітові (Pyrrophyta) – 1. Такий розподіл у спектрі водоростей свідчить про значне промислове та господарське навантаження на водойми.

Співвідношення водоростей за їх видами в басейні річки Сіверський Донець приведено на рис. 1.

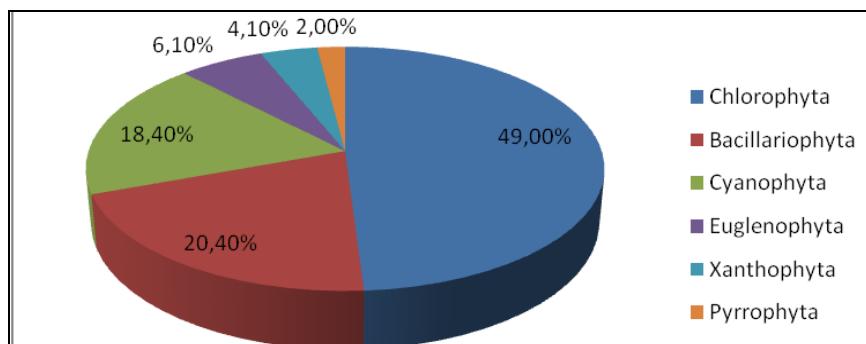


Рис. 1. Співвідношення видів водоростей в басейні р. Сіверський Донець

У верхній течії р. Сіверський Донець було знайдено 48 видів водоростей з 6 відділів (Cyanophyta, Pyrophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta, Xanthophyta). Видовий склад водоростей представлено в табл. 1.

Табл. 1. Видовий склад водоростей в р. Сіверський Донець

Відділ	Кількість				
	класів	порядків	сімейств	родів	видів
Суанопхита (Синьо-зелені)	3	3	4	5	9
Ругрофита (Пірофітові)	1	1	1	1	1
Васіларіопхита (Діатомові)	2	3	5	8	10
Еугленопхита (Евгленові)	1	1	1	2	2
Хлорофита (Зелені)	3	4	10	18	24
Хантофита (Жовто-зелені)	2	2	2	2	2
Всього	12	14	23	36	48

Провідна роль у формуванні кількісних показників фітопланктону належить зеленим водоростям (Chlorophyta) (79-95% від загальної чисельності знайдених кліток), що характерно для даного періоду пори року. Виключенням є створ Краснопавлівське водосховище, 216 км, нижній б'єф, де чисельна перевага належить синьо-зеленим водоростям (Суанопхита). Розподіл водоростей за створами спостережень представлено в табл. 2.

Табл. 2. Розподіл водоростей в р. Сіверський Донець за створами спостережень

№ п/п	Створи спостережень	Час спостережень	Кількість водоростей, % від загальної кількості знайдених водоростей					
			Суанопхита (Синьо-зелені)	Ругрофита (Пірофітові)	Васіларіопхита (Діатомові)	Еугленопхита (Евгленові)	Хлорофита (Зелені)	Хантофита (Жовто-зелені)
1	р. Сіверський Донець, 872 км, Печенізьке вдсх.	червень	-	0,4	4,5	-	95,1	-
		липень	12,2	-	24,8	-	63,0	-
		серпень	96,4	0,9	-	-	2,7	-
2	р. Уди, 3 км, гирло, смт Есхар	червень	-	-	6,6	-	93,4	-
		липень	27,5	-	7,7	0,3	63,3	1,2
		серпень	45,6	-	6,6	1,5	46,3	-
3	р. Сіверський Донець, 813 км, нижче впадіння р. Уди, смт Есхар	червень	-	-	19,4	-	80,6	-
		липень	19,7	-	10,1	-	64,8	-
		серпень	47,0	-	3,3	1,2	48,5	-
4	р. Сіверський Донець, 630 км, нижче впадіння каналу Дніпро-Донбас	червень	-	-	17,9	-	79,3	2,8
		липень	47,6	-	1,6	-	50,8	-
		серпень	57,8	-	7,1	-	35,1	-
5	Краснопавлівське водосховище, 216 км, нижній б'єф	червень	91,1	-	7,1	-	1,8	-
		липень	90,8	-	7,6	-	1,7	-
		серпень	96,1	-	1,5	-	2,4	-

Впродовж періоду спостережень у зв'язку зі зміною температурного режиму повітря та води поступово змінювались види домінуючих водоростей. Станом на серпень абсолютним домінантом були синьо-зелені водорості (Cyanophyta).

За результатами досліджень можна відмітити, що за екологічною оцінкою водні об'єкти басейну р. Сіверський Донець та їх окремі ділянки характеризуються як задовільні, слабо, або помірно забруднені (III класу якості 4 категорії). Виключення складають русло р.Сіверський Донець в Харківській області у створі Печенізького водосховища, р.Оскіл та Крансопавлівське водосховище, де якість вод характеризується як добрі, досить чисті (II клас якості 3 категорії). Інше виключення становлять водогосподарські ділянки р.Уди та р.Казенний Торець, води яких характеризуються, як забруднені та посередні, помірно забруднені (відповідно).

При гідрохімічних методах досліджень найбільше значення для інтегральної оцінки якості води отримали індекси забруднення води, які дозволяють отримати інтегральну оцінку якості води, ґрунтуючись на аналізі кратності перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) окремих інгредієнтів, відповідних рибогосподарським або іншим вимогам.

Індекс забрудненості води (ІЗВ) дозволяє отримати інтегральну оцінку якості води, ґрунтуючись на аналізі кратності перевищень гранично допустимих концентрацій окремих інгредієнтів.

Розрахунок ІЗВ проводиться за формулою:

$$I_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_v}, \quad (1)$$

де n – число показників, які використовуються для розрахунку індексу, з яких обов'язковими є розчинений кисень O_2 і $БСК_5$, а іншими - чотири перших інгредієнта з ранжированого (по кратності перевищення ГДК) ряду концентрацій; C_i – концентрація хімічної речовини в воді, мг/л; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація речовини у воді, мг/л.

По Харківській області стан річкової води Сіверського Дінця по індексу ІЗВ у верхній частині оцінюється як 3 «помірно забруднена». Після впадіння притоки р. Уди індекс ІЗВ збільшується вдвічі, стан річкової води значно погіршується і оцінюється як 4 «забруднена». Нижче впадіння притоки р. Мжа індекс ІЗВ знижується (з 2,85 до 2,30) і стан річкової води знову покращується до 3 «помірно забруднена», що вказує на її позитивний вплив. Далі за течією індекс ІЗВ варіює на межі класу якості 3 «помірно забруднена» і 4 «забруднена», і на межі Харківської і Донецької областей відповідає 4 «забруднена». Показники, що визначають клас якості вздовж водотоку річки в межах Харківської області є: мідь, хром⁶⁺, нафтопродукти, марганець, сульфати, нітроти, цинк та $БСК_5$.

Так, у верхньому створі р. Сів.Донець – с.Огірцове ІЗВ складає – 1,65, клас якості – 3 «помірно-забруднена». Перевищення ГДК встановлено по $БСК_5$ – в 1,27 раз, міді – у 2,83 рази, хрому⁶⁺ – в 2,08 раз, марганцю²⁺ – в 1,58 рази та заліза – в 1,39 раз. В наступному створі р. Сів.Донець – с.Печеніги спостерігається найбільш краща якість води. Тут ІЗВ складає – 1,35, клас якості – 3 «помірно-забруднена». Перевищення ГДК встановлено по $БСК_5$ – в 1,19 раз, міді – в 2,33 раз, хрому⁶⁺ – в 1,42 раз, марганцю²⁺ – в 1,21, заліза – в 1,17 раз. Значне покращує

щення якості води обумовлене тим, що великий обсяг води Печенізького водосховища (об'ємом води 383 млн.м³) сприяє розбавленню вод, вирівнюванню гідрохімічних показників, зменшенню великих концентрацій забруднювальних речовин та акумуляції речовин у донних відкладах.

Створ р. Сів. Донець – с. Есхар відзначається найгіршою якістю води, в якому ІЗВ складає – 2,97, клас якості 4 «забруднена». Перевищення ГДК встановлено по БСК₅ – в 1,83 раз, нітратам – в 3,47 раз, міді – в 5,83 раз, хрому⁶⁺ – в 2,17 раз, нафтопродуктам – в 3,67 раз. Таке погіршення якості води відбувається внаслідок надходження забруднених вод з р. Уди, яка впадає в р. Сіверський Донець в 2 км вище даного моніторингового створу.

Варто зазначити, що р. Уди протягом своєї течії зазнає найбільш значного забруднення серед всіх річок Харківської області, яке відбувається внаслідок значного антропогенного навантаження, пов'язаного зі скидом стічних вод, які містять біогенні речовини. Власне за інтегральним показником р. Уди відноситься до 5 класу якості «брудна», ІЗВ складає – 4,47. Перевищення ГДК відбувається по БСК₅ – в 1,6 раз, нітратам – в 7,95 раз, міді – в 6,42 раз, хрому⁶⁺ – в 3,25 раз, нафтопродуктам – в 4,42 рази. Власно сам басейн р. Уди привносить до р. Сіверський Донець основну кількість забруднюючих речовин, а саме: БСК₂₀ – 44,6 %, нітритів – 50,1 %, міді – 37,7 %, сульфатів – 21,4 %, нафтопродуктів – 83,1%, хрому – 49,6 %, цинку – 40,9 %.

Далі за течією якість води Сіверського Дінця вирівнюється, і в створі р. Сів. Донець – м. Зміїв клас якості знову повертається до 3 «помірно-забруднена», ІЗВ складає – 2,39, перевищення ГДК встановлено по БСК₅ – в 1,58 раз, міді – в 4,5 раз, нітратам – в 2,57 раз, хрому⁶⁺ – в 2,17 рази, нафтопродуктам – в 2,75 рази.

На ділянці від м. Змієва до м. Ізюма якість води залишається практично стабільною, індекс забруднення коливається в межах від 2,1 до 2,5. Лише нижче м. Ізюма якість погіршується і клас якості становить 4 «забруднена», ІЗВ – 2,89. Показники перевищення ГДК наступні: БСК₅ – в 1,88 раз, мідь – в 2,76 раз, хром⁶⁺ – в 5,17 раз, сульфати – в 3,59 раз, марганець²⁺ – в 3,3 рази.

Стан річкової води Сіверського Дінця по індексу ІЗВ на межі Харківської та Донецької областей оцінюється як 4 «забруднена», ІЗВ – 2,74, перевищення ГДК становлять: по БСК₅ – в 1,81 раз, по хрому⁶⁺ – в 4,58 раз, по марганцю²⁺ – в 3,63 раз, по сульфатам – в 2,96 раз, по міді – в 2,81 раз.

Наведені на рис. 2 дані ілюструють зміни якості води по довжині річки Сіверський Донець від кордону України з Російською Федерацією та до кордону Харківської і Донецької областей України.

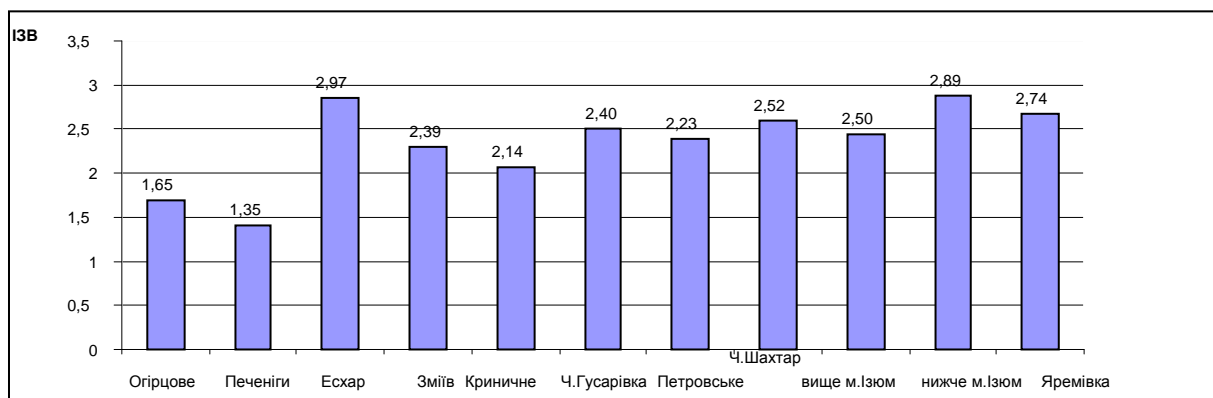


Рис. 2. Просторові зміни індексу забрудненості вод (ІЗВ) протягом водотоку р. Сіверський Донець за 2014 рік

Стан річкової води по індексу ІЗВ у верхній частині оцінюється як 3 «помірно забруднена». Після впадіння притоки р. Уди індекс ІЗВ збільшується в двічі та стан річкової води значно погіршується і оцінюється як 4 «забруднена». Нижче впадіння притоки р. Мжа індекс ІЗВ знижується (з 2,97 до 2,39) і стан річкової води знову покращується до 3 «помірно забруднена», що вказує на її позитивний вплив. Далі за течією індекс ІЗВ варіював на межі класу якості 3 «помірно забруднена» і 4 «забруднена», і на межі Харківської і Донецької областей відповідав 4 «забруднена».

7. Обговорення результатів дослідження

Отримані результати свідчать про те, що зміни якості води вздовж водотоку р. Сіверський Донець на основі індексу забрудненості вод співпадають з результатами, отриманими на основі гідробіологічної оцінки методом біоіндикації. При цьому результати співставлення за гідробіологічними та гідрохімічними параметрами дозволили визначити ті ж самі ділянки зі значним погіршенням якості вод. Відповідно рис. 2 можна відмітити суттєве погіршення якості вод нижче впадіння р. Уди, нижче м. Балаклії, нижче впадіння каналу Дніпро-Донбас, та нижче м. Ізюма. Виключення складають ділянки Сіверського Дінця у створі Печенізького водосховища, на р. Оскіл та у Краснопавлівському водосховищі, де якість вод характеризується як добрі.

Особливістю запропонованого підходу в проведенні моніторингу водогосподарських систем методами біоіндикації є те, що, по-перше, визначаються ефекти, в яких біонакопичення речовин поєднано з їх токсичністю і, по-друге, застосування гідробіологічного методу є засобом поєднання ефектів великої кількості індивідуальних процесів та здатності накопичуватися в часі.

При здійсненні моніторингу водогосподарських систем гідроморфологічні та фізико-хімічні показники повинні відображати умови розвитку гідробіонтів і за своєю суттю доповнювати висновки, отримані за біологічними параметрами. Для забезпечення виконання вимог ВРД доцільно обов'язкове визначення таких біологічних показників як склад та чисельність водної флори та донної безхребетної фауни, склад, чисельність і вікова структура рибної фауни тощо.

Аналіз отриманих даних показав, що моніторинг водогосподарських систем має досить розгалужений характер. Однак в основному зберігаються інституціональні та регулюючі аспекти інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом та необхідності вирішення екологічних проблем, використовуючи інструменти Водної Рамкової Директиви ЄС, застосування якої в практичному управлінні водним господарством України потребує глибокого аналізу та адаптування відповідних законодавчих, організаційних, методологічних та інших заходів.

Як свідчать результати проведеного дослідження, біологічні показники є високоінформативними та чутливими характеристиками. Вони можуть бути використані для аналізу якісного стану будь-яких водних об'єктів, не залежно від місця розташування, причому як у системі пасивного, так і активного моніторингу. Їх застосування необхідно при оцінці антропогенного навантаження на водогосподарські системи, а також при обґрунтуванні необхідності проведення природоохоронних заходів.

8. Висновки

1. На основі вивчення відкритих літературних джерел та нормативно-правових документів в галузі здійснення моніторингу водогосподарських систем визначені основні завдання та вимоги до об'єктів моніторингу водогосподарських

систем та програм спостережень за якісним станом водних об'єктів. Встановлено, що проблемним питанням даної розгалуженої системи моніторингу є відокремленість суб'єктів моніторингу один від одного, відрізнєння програм моніторингу та дублювання деяких функцій і пунктів спостережень.

2. Обґрунтовано доцільність використання гідробіологічних методів при оцінці екологічного стану водогосподарських систем. Встановлено, що біоіндикатори відображають сукупний вплив факторів навколишнього природного середовища на якість поверхневих вод. До них відносяться живі організми, які реагують на комплекс чинників навколишнього середовища своєю наявністю або відсутністю, зміною зовнішнього вигляду, хімічним складом, поведінкою та ступенем розвитку. При цьому необхідне обов'язкове визначення таких біологічних показників, як склад та чисельність водної флори та донної безхребетної фауни та склад, чисельність і вікова структура іхтіофауни.

3. Проведено оцінку екологічного стану р. Сіверський Донець за результатами експедиційних гідробіологічних досліджень та за даними державної програми моніторингу вод по гідрохімічним параметрам якості вод. Слід зазначити, що протягом водотоку Сіверського Дінця впадіння річки Уди здійснює найбільш значного забруднення серед всіх річок Харківської області, яке відбувається внаслідок значного антропогенного навантаження, пов'язаного зі скидом стічних вод, що містять біогенні речовини. При цьому ІЗВ складає – 4,47. Перевищення ГДК відбувається по БСК₅ – в 1,6 раз, нітратам – в 7,95 раз, міді – в 6,42 раз, хрому⁶⁺ – в 3,25 раз, нафтопродуктам – в 4,42 рази. За інтегральним показником річка Уди відноситься до 5 класу якості «брудна». За результатами гідробіологічних досліджень по р. Уди встановлено індекс значний відсоток наявності зелених і синьо-зелених водоростей, що дозволяє віднести її по індексу сапробності 2,05 до забруднених. При порівнянні встановлено, що отримані дані за різними водогосподарськими ділянками показують однакові результати щодо їх якісного стану. При цьому результати співставлення за гідробіологічними та гідрохімічними параметрами дозволили визначити ті ж самі ділянки зі значним погіршенням якості вод. Тому при проведенні моніторингу водогосподарських систем можливо з великою вірогідністю визначати екологічний стан, застосувавши гідробіологічні методи досліджень.

Аналізуючи вищевикладені методи дослідження якості поверхневих водних об'єктів можна сказати, що гідробіологічні методи посідають важливе, а у ряді випадків чільне місце в системах моніторингу екологічного стану поверхневих вод, навіть незважаючи на те, що політика запобігання забрудненню навколишнього природного середовища ґрунтується на контролі надходження конкретних хімічних речовин.

Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. 2000: 327.
2. Esteve P., Varela-Ortega C., Gutierrez I., Downing T. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture // Ecol Econ. 2015: 49–58.
3. Forni L. G., Medellin-Azuara J., Tansey M., Young C., Purkey D., Howitt R. Integrating complex economic and hydrologic planning models: an application for drought under climate change analysis // Wat. Res. Econ. 2016: 15–27.

4. D. Müller-Grabherr, M. Valentin Florin, B. Harris, D. Crilly, G. Gugic, J. Vegter, A. Slob, I. Borowski, J. Brils. Integrated river basin management and risk governance. Berlin Heidelberg. 2014: 241–264.
5. B. P. Hooper. Integrated water resources management and river basin governance // *Water Resources Update*. 126. 2003: 12–20.
6. Griffin R. C. Water resource economics. The analysis of scarcity policies and projects. MIT, Cambridge, Massachusetts, USA. 2005: 402.
7. I. Heinz, M. Pulido-Velazquez, J. R. Lund & J. Andreu. Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive // *Water Resources Management*. volume 21. 2007: 1103–1125.
8. Nikolaos Voulvoulis, Karl Dominic Arpon, Theodoros Giakoumis. The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation // *Science of The Total Environment*. Volume 575. 2017: 358–366.
9. D. Liefferink, M. Wiering, Y. Uitenboogaart. The EU Water Framework Directive: a multi-dimensional analysis of implementation and domestic impact // *Land Use Policy*. 28 (4). 2011: 712–722.
10. J.G. Carter. Spatial planning, water and the Water Framework Directive: insights from theory and practice *Geogr. J.* 173 (4). 2007: 330–342.
11. D. Hering, A. Borja, J. Carstensen, L. Carvalho, M. Elliott, C. K. Feld, A.-S. Heiskanen, R.K. Johnson, J. Moe, D. Pont, A. L. Solheim, W. van de Bund. The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future // *Sci. Total Environ.* 408(19). 2010: 4007–4019.
12. Andreu J., Pulido-Velazquez M., Collazos G. Methodology and tools for integrated assessment of resource and environmental costs // *Second international workshop on implementing economic analysis in the water framework directive*. Paris, France. 2005: 17–18.
13. Andreu J., Solera A., Paredes J., Sanchez S. Decision support systems for integrated water resources planning and management // *International workshop on “Hydro-economic modelling and tools for the implementation of the EU water framework directive”*. Valencia, Spain. 2006: 30–31.
14. Monitoring and reporting-results. V.D. Sustainability and Environment. April 2012. URL: <http://www.water.vic.gov.au/monitoring/river-health/isc/results>.
15. Ilker T. Telci, Kijin Nam, Jiabao Guan, Mustafa M. Aral. Optimal water quality monitoring network design for river systems // *Journal of Environmental*. 2009: 28–37.
16. Мокін В. Б., Мокін Б. І., Бабич М. Я. та інші. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Сіверський Донець з використанням геоінформаційних технологій. Вінниця: Вид-во «Універсум-Вінниця». Вінниця, 2009. 352 с.
17. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2017 році. Доступ: <https://mepr.gov.ua/content.html>
18. Осадча Н. М., Клебанова Н. С., Осадчий В. І. та інші. Адаптація системи моніторингу поверхневих вод державної гідрометеорологічної служби МНС України до положень Водної рамкової директиви ЄС // *Наукові праці Українського гідрометеорологічного інституту*. 2008. Вип. 257. С. 146–161.
19. Клименко М. О., Клименко О. М., Петрук А.М. Гідроекологічний моніторинг водних екосистем з огляду на сучасні європейські напрями у природоохоронній діяльності // *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3(70). С. 22–27.

20. Яцюк М. В., Жук В. М. Оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів басейну Сіверського Дінця. Методи біоіндикації. Харків: ФОП Рибальченко А. П., 2015. 63 с.

*V. Zhuk, Head sector
State Agency of Water Resources of Ukraine*

MONITORING OF HYDRO-ECONOMIC SYSTEMS USING HYDROBIOLOGICAL METHODS

The current state of the water monitoring system is analyzed, the main tasks of monitoring are determined. Methods of obtaining information about the state of water resources are studied. The subjects of monitoring on water bodies and hydro-economic systems have been identified. It has been established that the monitoring system is significantly branched and separate from each subject of monitoring, and water monitoring programs differ from each other and are often duplicated. Given the current changes in Ukraine's integration into the European Union, an analysis of the adaptation of the requirements of the Water Framework Directive 2000/60/EC to national water monitoring programs has been performed. For surface waters, monitoring programs should cover the following characteristics: biological parameters, chemical and physicochemical parameters, hydrological regime and morphological conditions, as well as specific synthetic and non-synthetic pollutants. It also determines which indicators or groups of water quality indicators should be measured for each type of water bodies, this characteristic of the criteria for determining the ecological status of waters by physicochemical, hydrobiological and hydromorphological indicators of water quality. The characteristics of diagnostic, operational and research monitoring programs are given. The main difference of the perspective monitoring system is the transition from chemical to biological control based on biological indication. Expeditionary studies of the ecological status of surface water bodies in the Siversky Donets River basin showed a good correlation between the results of biological and physicochemical assessment of surface water quality, which indicates the practical applicability of biological methods in determining the ecological status of water bodies. The development of new water monitoring programs taking into account modern requirements is not only a prerequisite for full monitoring of surface water bodies and hydro-economic systems, but also has a significant role in justifying water protection measures and preventing technogenic and natural emergency situations.

Keywords: Water monitoring, water bodies, water management systems, ecological condition, biological research methods, water quality indicators, boundary permissible concentration

References

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of establishing a framework for Community action in the field of water policy (2000). Official Journal of the European Communities, 327.
2. Esteve, P., Varela-Ortega, C., Gutierrez, I., Downing, T (2015). A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecol Econ*, 49–58.
3. Forni, L. G., Medellin-Azuara, J., Tansey, M., Young, C., Purkey, D., Howitt, R. (2016). Integrating complex economic and hydrologic planning models: an application for drought under climate change analysis. *Wat. Res. Econ*, 15–27.
4. D. Müller-Grabherr, M. Valentin Florin, B. Harris, D. Crilly, G. Gugic, J. Vegter, A. Slob, I. Borowski, J. Brils. (2014). Integrated river basin management and risk governance. Berlin Heidelberg, 241–264.
5. B. P. Hooper. Integrated water resources management and river basin governance. *Water Resources Update*, 126, 2003, 12–20.
6. Griffin, R. C. (2005). Water resource economics. The analysis of scarcity policies and projects. MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, 402.

7. I. Heinz, M. Pulido-Velazquez, J. R. Lund & J. Andreu. (2007). Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive. *Water Resources Management*, 21, 1103–1125.
8. Nikolaos Voulvoulis, Karl Dominic Arpon, Theodoros Giakoumis. (2017). The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Science of The Total Environment*. Volume 575, 358–366.
9. D. Liefferink, M. Wiering, Y. Uitenboogaart. (2011). The EU Water Framework Directive: a multi-dimensional analysis of implementation and domestic impact. *Land Use Policy*, 28 (4), 712–722.
10. J. G. Carter (2007). Spatial planning, water and the Water Framework Directive: insights from theory and practice *Geogr. J.*, 173 (4), 330–342.
11. D. Hering, A. Borja, J. Carstensen, L. Carvalho, M. Elliott, C.K. Feld, A.-S. Heiskanen, R. K. Johnson, J. Moe, D. Pont, A.L. Solheim, W. van de Bund. (2010). The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. *Sci. Total Environ*, 408(19), 4007–4019.
12. Andreu, J., Pulido-Velazquez, M., Collazos, G. (2005). Methodology and tools for integrated assessment of resource and environmental costs. Second international workshop on implementing economic analysis in the water framework directive. Paris, France, 17–18.
13. Andreu, J., Solera, A., Paredes, J., Sanchez, S. (2006). Decision support systems for integrated water resources planning and management. International workshop on “Hydro-economic modelling and tools for the implementation of the EU water framework directive”. Valencia, Spain, 30–31.
14. Monitoring and reporting-results. V. D. Sustainability and Environment. April 2012. URL: <http://www.water.vic.gov.au/monitoring/river-health/isc/results>
15. Ilker T. Telci, Kijin Nam, Jiabao Guan, Mustafa M. Aral. (2009). Optimal water quality monitoring network design for river systems. *Journal of Environmental*, 28–37.
16. Mokin, V. B., Mokin, B. I., Babich, M. Ya. ta in`shi. (2009). Sistema pidtrimki priynnyattya upravlinskih rishen kerivnikami vodogospodarskih organizacij dlya basejnu richki Siverskij Donec z vikoristannyam geoinformacijnih tehnologij. Vid-vo Universum-Vinnitsia. Vinnitsia, 352.
17. Nacionalna dopovid pro stan navkolishnogo prirodnogo seredovisha u 2017 roci. (2017). URL: <https://mepr.gov.ua/content.html>
18. Osadcha, N. M., Klebanova, N. S., Osadchij, V. I. ta in`shi. (2008). Adaptaciya sistemi monitoringu poverhnevih vod derzhavnoyi gidrometeorologichnoyi sluzhbi MNS Ukrayini do polozhen Vodnoyi ramkovoyi direktivi YeS. Naukovi praci Ukrayinskogo gidrometeorologichnogo institute, Kyiv, 257, 146–161.
19. Klimenko, M. O., Klimenko, O. M., Petruk, A. M. (2013). Hidroekologichnij monitoring vodnih ekosistem z oglyadu na suchasni yevropejski napryami u prirodohoronnij diyalnosti. *Visnik Poltavskoyi derzhavnoyi agrarnoyi akademiyi*, Poltava, 3(70), 22–27.
20. Yacyuk, M. V., Zhuk, V. M. (2015). Ocinka ekologichnogo stanu poverhnevih vodnih ob'yektiv basejnu Siverskogo Dincya. *Metodi bioindikaciyi*. FOP Ribalchenko A. P. Kharkiv, 63.

Надійшла до редколегії: 10.04.2020

Прийнята до друку: 21.04.2020