

УДК 681.518.5

## КОНТРОЛЬ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД р. ПІВДЕННИЙ БУГ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАКРОФІТІВ

В.Г. Петрук, С.М. Кватернюк, Ю.А. Гайдей  
Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе 95, 21021 Вінниця, petrukvg@gmail.com

Проаналізовано гідрохімічні параметри якості поверхневих вод р. Південний Буг та проведено їх порівняння з результатами експериментальних досліджень та математичного моделювання розвитку і продукції макрофітів. **Ключові слова:** макрофіти, біогенні елементи, гідрохімічні параметри, математичне моделювання, річка Південний Буг

**Контроль интегральных параметров качества поверхностных вод р. Южный Буг за характеристиками макрофитов.** В.Г. Петрук, С.М. Кватернюк, Ю.А. Гайдей. Проанализированы гидрохимические параметры качества поверхностных вод р. Южный Буг и проведено их сравнение с результатами экспериментальных исследований и математического моделирования развития и продукции макрофитов. **Ключевые слова:** макрофиты, биогенные элементы, гидрохимические параметры, математическое моделирование, река Южный Буг

**Control of integral parameters of surface waters quality of Southern Buh river by macrophytes characteristics.** V.G. Petruk, S.M. Kvaternuk, Yu.A. Gaydey. Hydrochemical parameters of surface waters quality of Southern Buh river were analyzed and compared to experimental results and mathematical models of macrophytes growth and production. **Keywords:** macrophytes, biogenic elements, hydrochemical parameters, mathematical modeling, Southern Buh river

### Вступ

Забруднення водних об'єктів полягає у внесенні речовини або енергії, що призводить до зміни функціонування водних екосистем, а також продуктивності та чисельності їх біологічних популяцій. Основний принцип гідробіологічного тестування водних об'єктів полягає у порівнянні виживання певних організмів у чистій та забрудненій воді. У добре збалансованій екосистемі є велика кількість видів, до того ж жо-

ден з них не є домінуючим. Зі зростанням забруднення екосистема спрощується, залишаються стійкі до забруднення види. У даній роботі виберемо у якості біоіндикатора макрофіти, що дозволить аналізувати екологічний стан водного об'єкту на прикладі р. Південний Буг. Вищі водяні рослини у складі трофічного ланцюга гідробіоценозу виступають як один з головних компонентів автотрофного блоку, забезпечуючи трансформацію потоку енергії та мінеральних компонентів у

первісну органічну речовину. Макрофіти впливають на фізико-хімічні параметри гідроекосистеми, визначають динаміку заростання акваторії, збагачують якісний і кількісний склад гетеротрофного блоку, створюють сприятливі умови для відтворення іхтіофауни. Особливу роль вищі водяні рослини мають у процесі самоочищення гідроекосистеми, забезпечуючи виконання низки функцій, у результаті яких здійснюється видалення значної кількості біогенних елементів та акумуляція забруднюючих речовин, що сприяє формуванню якісних показників води. Зарості вищої водяної рослинності можуть служити перешкодою потрапляння забруднень у водні екосистеми з поверхневим стоком.

#### Виклад основного матеріалу

*Загальна характеристика макрофітів, як біоіндикаторів екологічного стану водних об'єктів.* Водними макрофітами називають всі макроскопічні рослинні організми, встановлення видової приналежності яких не потребує застосування оптичних засобів з великим збільшенням. У прісноводних водоймах це вищі водяні рослини, а також харові і зелені нитчасті водорості. До складу водяних макрофітів входять справжньо-водяні, повітряно-водяні та амфібійні види. Перші для проходження життєвого циклу вони потребують постійного контакту з водним середовищем, більша частина вегетативного тіла цих рослин занурена у воду, на її поверхні чи над нею можуть бути розташовані листя. У повітряно-водяних рослин у воді знаходиться лише нижня частина пагонів, а верхня – у повітрі. Представники цієї групи займають прибережні мілини до глибини 1–2 м та

відмічаються вище урізу води. Амфібійними є види, які в залежності від умов проходять свій життєвий цикл як за типом справжньо-водяних, так і суходільних рослин. У практиці гідроботанічних досліджень серед водяних рослин за ступенем контактування з водним і повітряним середовищами та донними відкладами, зазвичай, розрізняють такі екологічні групи:

- повітряно-водяні – рослини з пагонами, частина яких перебуває у водному середовищі, а частина піднімається над поверхнею води;
- з плаваючим листям – рослини, більша частина вегетативних пагонів і листя яких плаває;
- занурені – рослини, основна частина яких знаходиться у водній товщі, а генеративні пагони можуть здійматися над водою чи плавати на її поверхні.

Макрофіти є більш консервативними показниками стану водних екосистем, ніж угруповання фіто-, зоопланктону і бентосу, які утворені дрібними, рухливими організмами. Однак це не заперечує можливості використання макрофітів для оцінки стану водних екосистем різного типу. У Директиві 2000/60/ЄС макрофіти розглядаються як важливий «елемент якості для класифікації екологічного статусу» природних та «екологічного потенціалу» сильно змінених та штучних водних об'єктів. При цьому стосовно річок і озер як «елемент біологічної якості» рекомендується використовувати вищі водяні рослини [1].

Видовий склад, характер поширення, структура рослинних угруповань, показники біомаси і площі зарослої акваторії є маркерами, які візуально виявляють екологічний стан водних об'єктів [2]. Спостереження за динамі-

кою якісних і кількісних показників розвитку макрофітів дозволяють визначити напрямок сукцесії водних екосистем. Матеріали про зміни рослинності можуть бути отримані в результаті спостережень за акваторією всього водного об'єкта або його частини. Досліди проводять на стаціонарних майданчиках з фіксованими межами. Порівняння проводять за всіма параметрами, що характеризують угруповання макрофітів. При цьому зміни можуть носити сезонний характер, що викликається кліматичними умовами, особливостями біологічних ритмів рослин, або ж антропогенним тиском на водойму. Сезонні зміни та флуктуації є хаотичними, але зворотними. Вони розглядаються як тимчасова зміна структури угруповань і протиставляються екологічним сукцесіям – спрямованим змінам, що спричинені зовнішніми або внутрішніми чинниками і мають незворотній характер [3].

*Опрацювання результатів експериментальних вимірювань параметрів якості води за гідрохімічними показниками.* Результати експериментальних вимірювань параметрів якості води річки Південний Буг, що отримані такими суб'єктами моніторингу водних ресурсів: Басейнове управління водними ресурсами р. Південний Буг, Вінницький обласний центр гідрометеорології Державної гідрометеорологічної служби Міністерства надзвичайних ситуацій України, Державне управління охорони навколишнього природного середовища у Вінницькій області; Вінницька обласна державно-санітарно-епідеміологічна служба, Державне підприємство “Вінницяводоканал”, взяті з єдиної бази даних геоінформаційної аналітичної системи

державного моніторингу вод Вінницької області.

До гідрохімічних показників якості поверхневих вод відносять активну реакцію (рН) середовища, вміст біогенних елементів (азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, фосфор фосфати), параметри споживання кисню (БСК, перманганатна і біхроматна окисленість). Розташування річки Південний Буг у зоні інтенсивної господарської діяльності, незаконна забудова природоохоронної смуги біля річки створює посилений антропогенний прес на водні екосистеми, що характеризується підвищеною їх евтрофікацією, однією з особливостей якої є зростаюча концентрація біогенних елементів. У цьому зв'язку очевидна доцільність екологічної оцінки стану гідроекосистеми за критеріями, які входять до блоку гідрохімічних показників. Результати вимірювань вмісту біогенних елементів (азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, фосфор фосфатів) у пробах води зі створів наведено у табл. 1.

Визначено відповідні класи та категорії якості поверхневих вод за вмістом біогенних елементів. Домінуюче положення, як нами встановлено, займають проби, що належать до II і III класів якості води, 3 і 4 категорії, що характеризує досить чисті і помірно забруднені води. Крім цього є декілька створів, якість води у яких, за вмістом біогенних елементів відноситься до IV класу, що вказує на вплив стічних каналізаційних вод та потребує більш ретельного дослідження з метою виявлення конкретних джерел забруднення і накладання штрафних санкцій.

Таблиця 1.

**Екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Південний Буг  
за вмістом біогенних елементів**

№	№ створа	Код	Азот амонійний, мг N/дм <sup>3</sup>	Q <sub>A1</sub>	q <sub>A1</sub>	Азот нітритний, мг N/дм <sup>3</sup>	Q <sub>A2</sub>	q <sub>A2</sub>	Азот нітратний, мг N/дм <sup>3</sup>	Q <sub>A3</sub>	q <sub>A3</sub>	Фосфор фосфатів, мг P/дм <sup>3</sup>	Q <sub>ф</sub>	q <sub>ф</sub>
1	34	1в	0,45	III	4	0	I	1	0,12	I	1	0,01	I	1
2	44	1г	0,34	III	4	0	I	1	0,03	I	1	0,06	III	4
3	1	1	0,28	II	2	0,01	II	3	0,86	III	5	0,04	II	3
4	41	8в	0,68	III	4	0,03	II	3	0,04	I	1	0,07	III	4
5	51	8г	0,43	II	2	0,03	III	5	0,32	II	3	0,02	II	2
6	65	10с	0,46	II	3	0,01	II	3	0,43	III	5	0,3	II	3

Проаналізувавши також результати вимірювань за параметрами споживання кисню та активної реакції середовища, визначимо середній клас та категорію якості вод за гідрохімічними показниками. Далі проведемо статистичну обробку отриманих результатів, визначимо математичне очікування та середньоквадратичне відхилення для кожного з параметрів. Отримані значення розподілу показників якості поверхневих вод дозволять оцінити їх зміну у масиві вимірювальної інформації отриманої зі створів. Результати статистичної обробки середнього класу (а) та категорії якості (б) поверхневих вод р. Південний Буг за гідрохімічними показниками наведені на рис. 1.

У більшості випадків (28 з 46) якість води відповідає III класу якості («задовільні») і 4–5 категоріям екологічної класифікації (слабко і помірно забруднені води за ступенем чистоти). Порівнянню з результатами оцінювання екологічної якості вод для річки Південний Буг у попередні роки була

відмічена тенденція до поступового погіршення якісних показників і, як наслідок, переміщення з класу «добрі» до «погані» за їх станом.

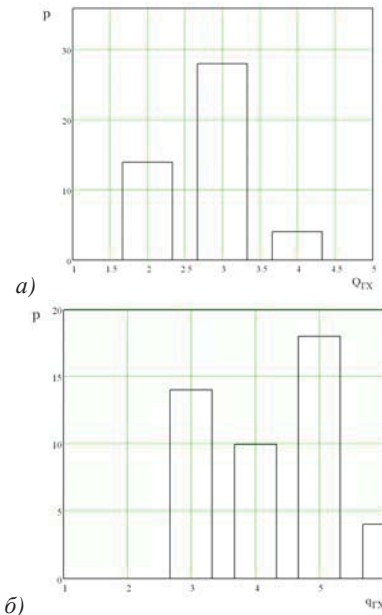


Рис. 1 – Середній клас (а) та категорія якості вод (б) за гідрохімічними показниками

Результати порівняння експериментальних досліджень та математичного моделювання розвитку і продукції макрофітів. У процесі дослідження розвитку вищої водної рослинності було визначено збіднілий якісний склад флористичних угруповань, які формували два рослинних комплекси – прибережний та акваторіальний. Прибережний рослинний комплекс, який відмічався бордюрними смугами різної довжини і щільності уздовж берегової лінії, був представлений очеретом звичайним (*Phragmites communis*), рогазами широколистим (*Typha latifolia*) та вузьколистим (*T. angustifolia*), осоками гострою (*Carex acuta*), побережною (*C. garalia*) та звичайною (*C. gracilis*).

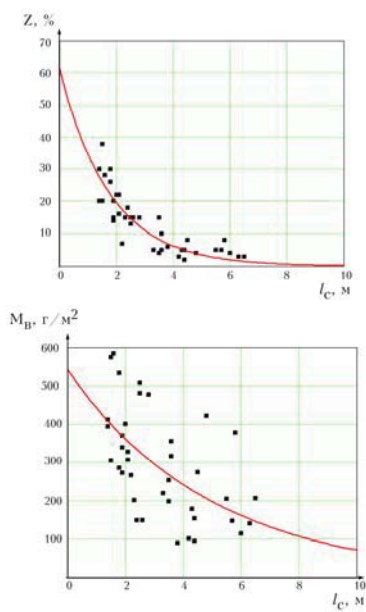
“М’яка” водяна рослинність, яка формувала акваторіальні “плями” із занурених гідатофітів та плаваючих плейстофітів, і переважно була представлена декількома видами з роду *Potamogeton* (рдесники курчавий (*P. crispus*), блискучий (*P. lucens*), волосистий (*P. pillosus*), плаваючий (*P. natans*), пронизанолистий (*P. perfoliatus*)), водоперецею колосистою (*Myriophyllum spicatum*), роголистником темнозеленим (*Seratophyllum demersum*). Інтенсивність розповсюдження макрофітів по акваторіям певним чином залежала від гідрологічних особливостей водойм. При цьому відмічена тенденція поступового підвищення заростання акваторій у останні роки, коли зменшилась інтенсивність їх експлуатації, що зумовило відносну статичність гідрологічного режиму. Для більш глибоководних ділянок, що мають середні глибини понад 4 м, характерним є незначне заростання акваторій, яке не перевищувало 8 % площі водного дзеркала. Оцінюючи розвиток “м’якої” рослинності необхідно відзначити не-

значне їх розповсюдження (не більше 10 % площі водної поверхні) по акваторіям за винятком деяких ділянок.

На підставі отриманих фактичних даних щодо стану розвитку макрофітів проведено кореляційний аналіз з метою визначення найбільш взаємопов’язаних чинників, що характеризують цю біотичну компоненту. Встановлено, що такі гідрологічні параметри, як середня глибина та коефіцієнт водообміну негативно впливають на розвиток макрофітів, стримуючи їх розповсюдження по акваторії та кількісні показники вегетації. Особливо виражений зворотній взаємозв’язок має місце між середньою глибиною водойм і заростанням акваторій ( $r = -0,716$ ), дещо слабший між середньою глибиною і біомасою макрофітів ( $r = -0,504$ ), що передбачає можливість визначення цих залежностей у графічному вигляді з використанням елементів моделювання (рис. 2). Моделювання здійснено у програмі MathCAD.

За рахунок вегетації макрофітів, інтенсивність яких характеризується середніми біомасами за досліджений період у межах 80...560 г/м<sup>2</sup>, у водоймах щорічно за вегетаційний сезон орієнтовно утворюється від 1 до 7 т/га первинної органічної речовини. Підсумовуючи результати досліджень стосовно кількісних показників розвитку вищої водної рослинності, необхідно звернути увагу на значні об’єми утвореної первинної органічної речовини цією групою продуцентів, яка практично не залучається до трофічного ланцюга і не використовується як кормовий ресурс гетеротрофами різних рівнів. За такої ситуації у гідроекосистемах відбувається поступове накопичення

значних обсягів відмерлої автохтонної органічної речовини, що спричиняє вторинне їх забруднення.



А) Б)  
Рис. 2. Залежність а) заростання акваторій та б) біомаси макрофітів від середньої глибини ділянки

### Висновки

Аналіз результатів статистичної обробки показників якості поверхневих вод р. Південний Буг за гідрохімічними показниками та їх порівняння з результатами експерименталь-

них досліджень та математичного моделювання розвитку і продукції макрофітів дозволяє контролювати інтегральний рівень забруднення р. Південний Буг. При цьому дослідження показали, що домінуюче положення займають проби, які належать до III класу якості води 4–5 категорії, що відповідає слабко і помірно забрудненим водам. За трофічним статусом вони знаходяться у діапазоні від евтрофних до еволітрофних, за сапробністю від – мезосапробних до – мезосапробних.

При цьому гідрохімічні дослідження дозволяють оцінити рівень забруднення у конкретний момент часу та у невеликому об'ємі проби взятої зі створу. На відміну від цього дослідження характеристик макрофітів дозволяє інтегрально оцінити рівень забруднення водного об'єкту та комплексний антропогенний вплив в його екосистему протягом тривалого часу на досить великій ділянці. За рахунок цього досліджені методи мають різні сфери застосування. У цілому результати експериментальних досліджень класу та категорії якості поверхневих вод, отримані з використанням таких методів збігаються з урахуванням статистичних розбіжностей.

### Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy / Official Journal of the European Communities. – L 327, 22.12.2000. – 72 p.
2. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / [Арсан О.М., Давидов О.А., Дьяченко Т.М. та ін.]: під ред. В.Д. Романенко. – НАН України. Ін-т гідробіології. – К.: Логос, 2006. – 408 с.
3. Пилипенко Ю.В. Екологія малих водосховищ Степу України: монографія / Ю.В. Пилипенко. – Херсон : Олди-плюс, 2007. – 303 с.