

УДК 574.5 (477.41/42)

МОРФОГЕНЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТАБІЛЬНОСТІ РОЗВИТКУ ВОДНИХ МАКРОФІТІВ В КОРОТКОТЕРМІНОВОМУ БІОМОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Т.П. Федонюк

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Житомирський національний агроекологічний університет

Установлено, що морфогенетичні зміни в деяких видах рослин, що вільно зростають у межах Тетерівського екологічного коридору, є інформативними показниками сталого розвитку водних екосистем, а визначені закономірності розподілу індексів інтегральної флуктуаційної асиметрії — це передумова для оцінювання якості води на території Полісся України.

Ключові слова: біомоніторинг, макрофіти, якість води, поверхневі води, біорізноманіття, флуктуаційна асиметрія.

Порушення стабільного розвитку екосистем, у тому числі й за впливу антропогенних чинників, призводить до відхилення в морфологічних та фізіологічних показниках живих організмів. При цьому білатерально симетричні організми реагують на ці зміни безвекторним порушенням симетрії, яка є своєрідною реакцією на несприятливий екологічний стан середовища. В угрупованнях вищих водних рослин, які існують тривалий час, підтримується певний рівень стабільності розвитку [1]. Порушення гомеостазу спостерігається в екосистемах, які існують на межі своїх можливостей [2].

Одним з методів оцінювання стабільності розвитку виду є визначення інтегрального показника флуктуаційної асиметрії [2], який являє собою величину математичної дисперсії різниці розмірів сторін від середньостатистичного значення цього параметра. Величина дисперсії асиметрії не залежить від абсолютних розмірів ознаки. За цих умов отримується точна кількісна оцінка величини флуктуаційної асиметрії навіть за наявності спрямованої асиметрії.

Як зазначає Е.Л. Константинов [3], під флуктуаційною асиметрією розуміють незначні та випадкові відхилення від суворої білатеральної симетрії біооб'єктів, а М.Н. Кузнецов та Л.В. Голишкін [2], та А.А. Гуртяк і В.В. Углев [4] зазначають, що за флуктуаційної асиметрії відмінність в розмірах сторін не є суто генетично детермінованою. Цей показник є лише своєрідним втіленням порушень симетрії, результатом природного добору та боротьби за існування окремих особин популяції і, як наслідок, є віддзеркаленням сталого розвитку водних екосистем. Оцінка величини флуктуаційної асиметрії, на думку А.А. Гуртяка та В.В. Углева [4], є коректним способом формалізації ступеня відхилення розвитку осо-

бини і навіть популяції від норми. Причому чим гірші умови для розвитку організмів, тим вищі значення флуктуаційної асиметрії. Це підтверджується працями зарубіжних учених: А.Р. Палмера і С. Стробека [5], П.А. Парсонса [1], Р.Ф. Лірі і Ф.У. Аллендорфа [6], Б. Леунга, М.Р. Форбса і Д. Хоула [7]. Схожі результати були отримані і вітчизняними вченими на ряді водних об'єктів України [8, 9, 10].

У більшості літературних джерел об'єктом для виявлення флуктуаційної асиметрії був вид рдесник пронизанолистий досить поширений на всьому Євразійському континенті, який характеризується яскравістю реакції на зміни сталого розвитку водних екосистем. Таким чином, цей вид апробований на території Росії (Е.А. Власова, П.А. Белова, Т.А. Федорова та А.В. Щербаков [11, 12], Великобританії (Р. Гоулдер [13]), Німеччини (Г.А. Янауер, Б. Шмідт, & У. Шмідт-Мум [14]), Сербії (А. Вєсїч, Я. Бляженчич, Ю. Шїнжар-Секулич [15]), Угорщини (Б.А. Лукач, Б. Тотемерес, Г. Борикис, Г. Варбіро, П. Югас, Б. Кїсс та ін. [16]) та в інших країнах світу.

З інших об'єктів флуктуаційної асиметрії апробацію здійснювали для видів елодея канадська [17], сальвінія гігантська [18] та деяких інших. Проте, макрофітів-індикаторів за цим показником дуже мало. Тому дослідження та пошук потенційних видів-індикаторів, особливо поширених у межах досліджуваного регіону, має неабиякий теоретичний та практичний інтерес.

З огляду на це, ми здійснили морфогенетичний аналіз водних макрофітів на основі показника флуктуаційної асиметрії потенціального критерію при короткотерміновому біомоніторингу для оцінювання стабільності розвитку водних екосистем Полісся України.

Для проведення досліджень вибрали види рослин, що вільно зростали в усіх визначених гідротопах у кількостях, достатніх для отримання достовірних даних: рдесник пронизанолистий (*Potamogeton perfoliatus*), сальвінія плаваюча (*Salvinia natans*) та глечики жовті (*Nuphar Lutea*).

У точках спостережень оцінювали якість води (рис. 1). Усі отримані дані розбивали на три категорії за інтенсивністю антропогенного тиску на водні екосистеми. Передумовами розподілу точок спостережень на категорії інтенсивності антропогенного тиску були дані щодо розподілу водних об'єктів відповідно до «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями».

Так, об'єкти з категоріями якості води 1–2,99 (від «відмінних» до «добрих») ми класифікували як об'єкти незначного антропогенного тиску. Сюди увійшли постійні точки спостережень № 1-01..1-06, 1-09..1-10, 1-14, 1-23, 1-25..1-26, 1-29..1-32, 1-37. До об'єктів із «середнім рівнем антропогенного тиску» було віднесено точки спостережень, у яких категорія якості води фіксувалася на рівні 3,0–3,99 (слабо забруднені): № 1-07...1-08, 1-11...1-14, 1-16, 1-22,

1-24, 1-35, 1-38...1-42, 2-01, 2-03, 2-05...2-06, 5-01-5-02. До об'єктів сильного антропогенного тиску ми віднесли всі частини водотоків, де рівні екологічного стану водойм зафіксовані в межах від 4, 00 і вище: № 1-15, 1-17...1-21, 1-27-1-28, 1-33-1-34, 1-36, 2-02, 2-04, 4-01...4-04. Зразки прибережного ґрунту та донних відкладів відбирали в 20 точках та аналізували на вміст рухомих форм важких металів.

Дослідження флуктуаційної асиметрії проводили на прикладі окремих ознак листових пластинок. Листки збирали в літні періоди 2011–2015 рр. у межах точок різного антропогенного тиску Тетерівського екологічного коридору. Коефіцієнт флуктуаційної асиметрії оцінювали визначенням інтегрального показника, який являє собою середню різницю між сторонами на ознаку [20]:

$$K_{FA} = \frac{\sum_{i=1}^k (d_{l-r})_i}{nk},$$

де $d_{l-r} = \frac{d_l - d_r}{d_l + d_r}$; k — кількість ознак; d_l, d_r — значення виміру ознаки зліва і справа листової пластинки; n — чисельність вибірки.

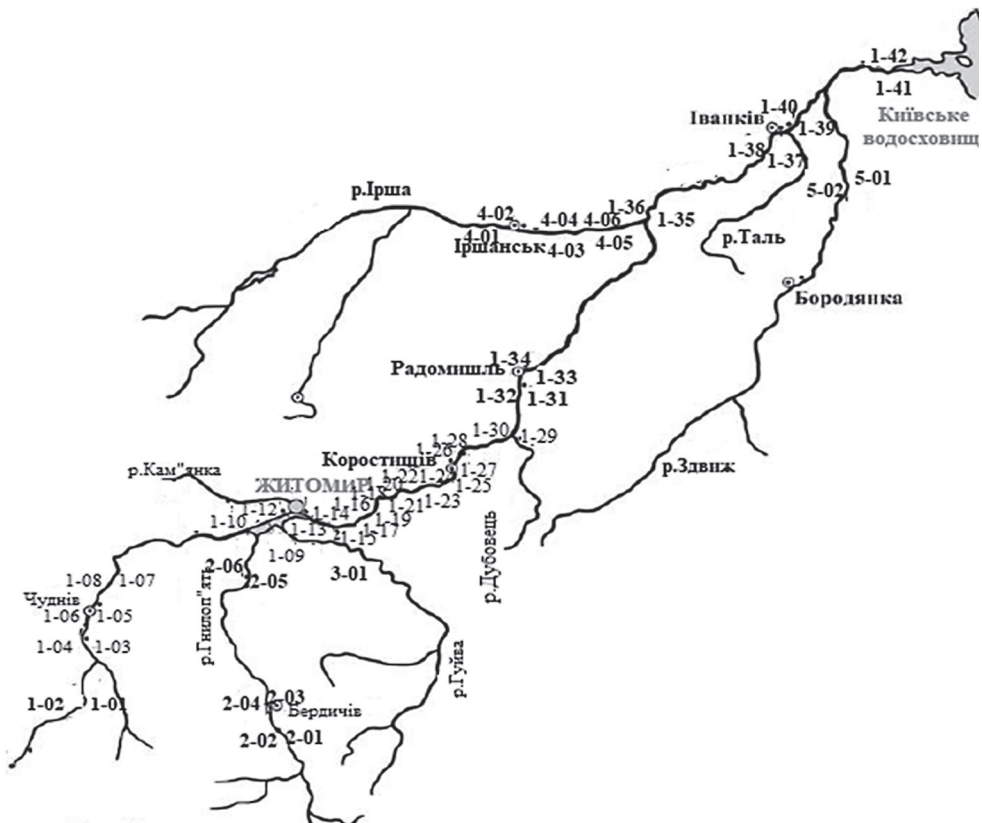


Рис. 1. Карто-схема розміщення точок спостережень у межах Тетерівського екологічного коридору

Ознаки для кожного виду підбирали індивідуально, зважаючи на морфологічні показники рослин і дослідження попередніх науковців.

Проведеним порівняльним аналізом виявлено кореляцію з високим ступенем достовірності між значеннями показників екологічної якості води та показниками флуктуаційної асиметрії ($r = 0,5841$). Так, із погіршенням екологічного стану води коефіцієнт асиметрії в листках рослин виду *Potamogeton perfoliatus* зростає (рис. 2).

На лівому березі р. Тетерів, де розташована основна частина міста Житомир, помічено більшу забрудненість води в прибережній зоні. Оскільки водні потоки в річці в межах міста повністю не зміщуються, виникає відмінність у забрудненості їх коло протилежних берегів.

Виявлено, що значення коефіцієнта асиметрії листків рослин виду *Potamogeton perfoliatus* на лівому березі вищі, ніж у рослин правого берега (рис. 3). Виявляється послідовне збільшення значень від точки, розташованої вище від гирла р. Кам'янки (№ 1-15 та № 1-16), до точки поблизу населеного пункту Слобода-Селець (точки № 1-21 та 1-22), де показники коефіцієнтів асиметрії сягають максимальних значень. Порухення симетрії листкових пластинок *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans* спостерігались і в точках № 1-33 та № 1-32, розміщених на 1 км нижче м. Радомишль, тобто в місцях інтенсивного антропогенного навантаження.

Найнижчі показники листової асиметрії приурочені до ділянок, де здійснювались обліки в точках № 1-01-1-06, 1-29...1-32 та інших, що цілком підтверджує дані, отримані за іншими гідрохімічними та біоіндикаційними критеріями.

Хід значень коефіцієнта асиметрії, розрахований для рослин правого берега, не показує такої чіткої залежності від джерел забруднення, як на лівому березі, однак достовірно виявляються збільшені значення в межах міста і зниження їх за містом.

Таким чином, було виявлено що інтенсивність антропогенного навантаження значною мірою впливає на показники асиметрії листків.

Так, посилення антропогенного тиску на стан водного середовища призводить до зміщення поліноми розподілу коефіцієнтів асиметрії на 0,01 одиниць для *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans* та на 0,005 — для *Nuphar lutea*. А в разі сильного антропогенного тиску основні показники поліноми можуть зміщуватися на 0,015 одиниць для *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans* та на 0,010 — для *Nuphar luteum* (рис. 4–6).

Для детальнішого аналізу порівняли коефіцієнти асиметрії з показниками якості води та блоком показників токсичної дії, отриманими в ході аналізу видового складу в деяких точках Тетерівського екологічного коридору.

Відповідно до результатів досліджень (табл. 1) найбільш виражені зміни морфогенетичних показників, а саме — коефіцієнтів флуктуаційної асиметрії виявлено в точках посиленого антропогенного тиску, приурочені до ділянок впливу стічних вод (1-16, 1-22, 1-34, 2-04 та ін.), а варіювання коефіцієнтів флуктуаційної асиметрії відзначаються при досягненні високої концентрації важких металів в донному ґрунті. Однак різні види рослин по-різному реагували на варіювання вмісту важких металів у донних відкладах та прибережному ґрунті.

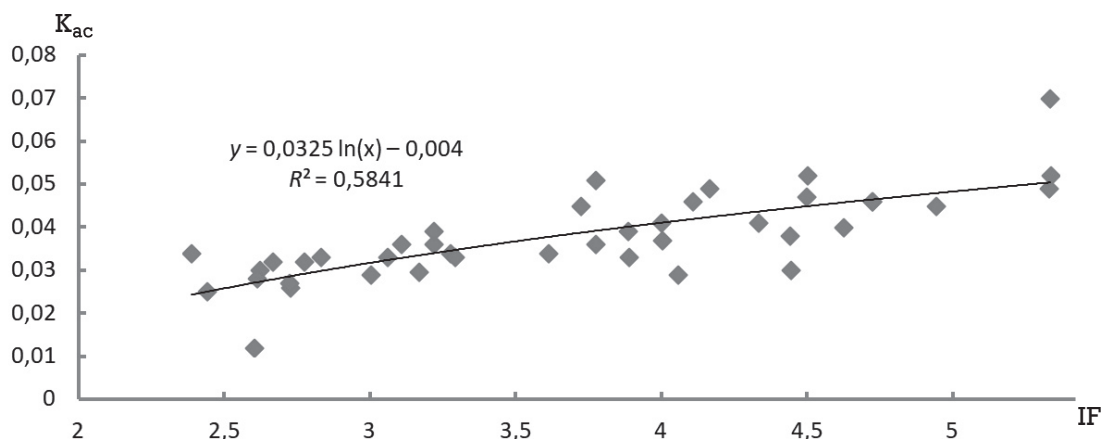


Рис. 2. Розподіл показників екологічної якості води та коефіцієнтів асиметрії листків рослин виду *Potamogeton perfoliatus* для точок вибірки на території Полісся України

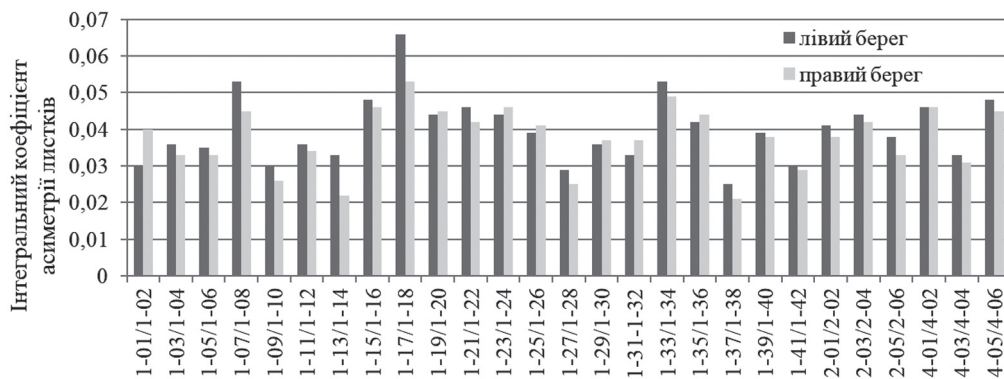


Рис. 3. Розподіл коефіцієнтів асиметрії листків рослин виду *Potamogeton perfoliatus* в точках вибірок у межах Тетерівського екологічного коридору

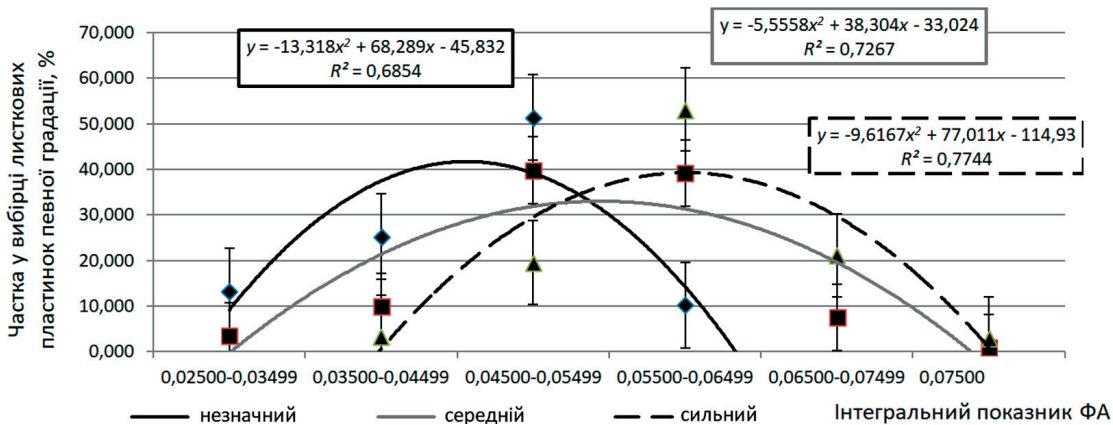


Рис. 4. Розподіл інтегрального показника флуктуаційної асиметрії у вибірках рдесника пронизанолистого в різних за рівнем забрудненості умовах існування

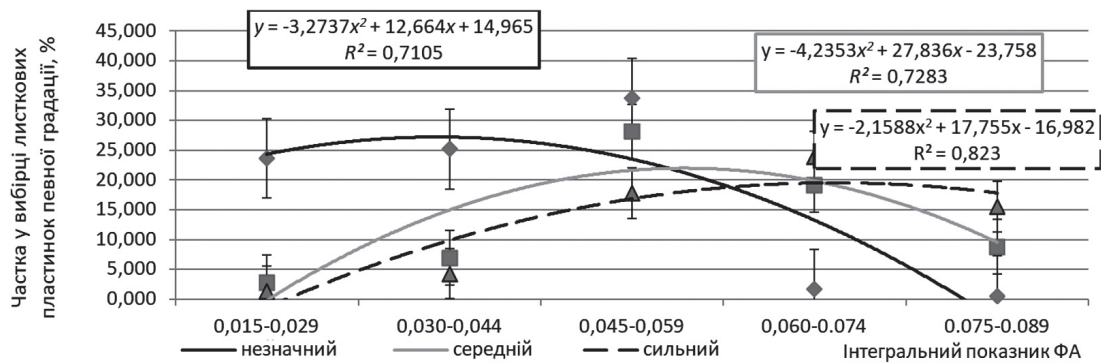


Рис. 5. Розподіл інтегрального показника флуктуаційної асиметрії у вибірках сальвінії плаваючої в різних за рівнем забрудненості умовах існування

На зміщення асиметрії листкових пластинок рослин виду *Nuphar lutea* впливали несприятливі концентрації рухомих форм усіх досліджуваних груп важких металів. За цими залежностями відмічено тісні прямолінійні зв'язки. Так, реакції на антропогенний тиск у

виді деформації листкових пластинок рослин виду *Potamogeton perfoliatus* мали тісні прямолінійні залежності від вмісту рухомих форм Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} та Cd^{2+} , помірний характер мали залежності коефіцієнтів флуктуаційної асиметрії від вмісту рухомих форм Co^{2+} .

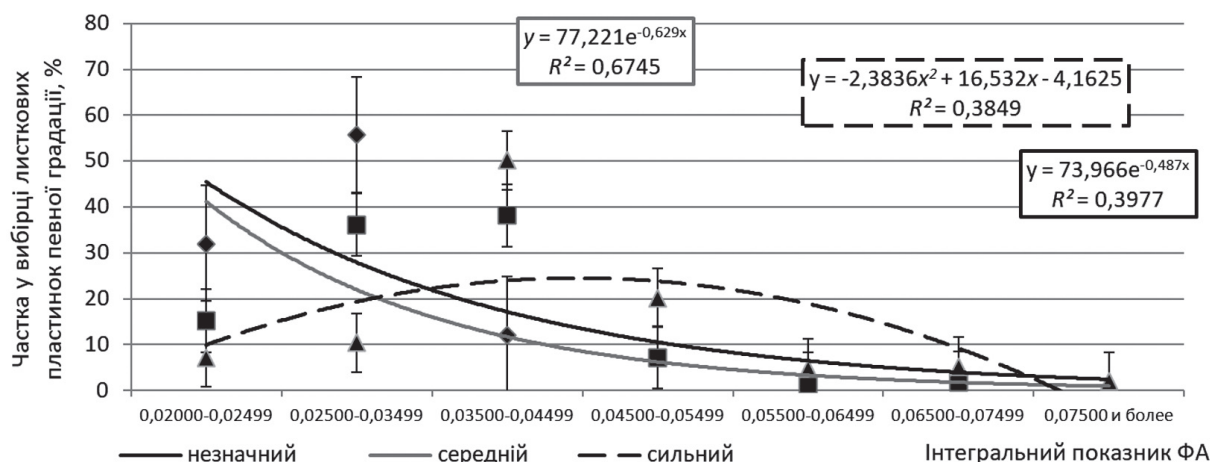


Рис. 6. Розподіл інтегрального показника флуктуаційної асиметрії у вибірках глециків жовтих у різних за рівнем забрудненості умовах існування

Для виду *Salvinia natans* найістотніший вплив на морфогенетичні показники мали високі концентрації рухомих форм катіонів нікелю, цинку, купруму та кадмію. За цими показниками виявлено прямі тісні залежності, що підтверджується отриманими коефіцієнтами детермінації. За іншими групами важких металів достовірних залежностей не виявлено.

Отже, спостерігається виражена тенденція до прямолінійної кореляції між коефіцієнтом флуктуаційної асиметрії та вмістом досліджених груп політантів у донних відкладах, особливо це характерно для Zn^{2+} , Cr^{2+} та Cu^{2+} , щодо яких спостерігали підвищені значення асиметрії в усіх досліджуваних видів макрофітів.

Коефіцієнти флуктуаційної асиметрії варіюють при досягненні високої концентрації важких металів і в прибережних ґрунтах, однак реакції рослин неоднозначні на варіювання вмісту важких металів у донних відкладах та прибережному ґрунті (табл. 2).

Так, реакція на антропогенний тиск у вигляді деформацій листових пластинок рослин виду *Potamogeton perfoliatus* мали тісні прямолінійні залежності у відповідь на підвищення вмісту рухомих форм катіонів цинку, купруму та хрому ($r = 0,562$, $r = 0,879$ та $r = 0,614$ відповідно). Слабкі були залежності коефіцієнтів флуктуаційної асиметрії від вмісту рухомих форм нікелю та кобальту ($r = 0,413$ та $r = 0,400$ відповідно).

На зміщенні асиметрії листових пластинок рослин виду *Salvinia natans* позначалися несприятливі концентрації рухомих форм катіонів цинку, купруму та хрому. За цими залежностями встановлено тісні прямолінійні зв'язки ($r = 0,565$, $r = 0,867$ та $r = 0,606$ відповід-

но). Кореляційні зв'язки з вмістом двох сполук були помірними для нікелю ($r = 0,438$) та слабкі для кобальту ($r = 0,370$). За іншими групами важких металів достовірних залежностей не виявлено.

На морфогенетичні показники виду *Nuphar luteum* істотно впливом всі досліджувані групи катіонів важких металів. Так, виявлено прямі тісні залежності, що підтверджуються отриманими коефіцієнтами кореляції ($r = 0,14..0,886$). Найтісніші зв'язки помічено для Cu^{2+} та Cr^{2+} .

З описаних даних видно, що спостерігається чітка тенденція до прямолінійної кореляції між коефіцієнтом флуктуаційної асиметрії та вмістом купруму, хрому й цинку в прибережних ґрунтах, за якими відмічені чіткі реакції в усіх досліджених видів рослин.

Для детальнішого аналізу було проведено порівняння коефіцієнтів асиметрії із загальними показниками якості води та геоботанічними розрахунками, отриманими в ході аналізу видового складу в тих самих точках на річці Тетерів. Так, виявлено, що зростання індексів видового багатства Маргалефа (d) супроводжується зниженням індексів флуктуаційної асиметрії видів *Nuphar luteum*, *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans*, що підтверджується встановленим тісним кореляційним зв'язком з високим ступенем достовірності ($r = 0,823$). Така тенденція відмічена і з індексами загального різноманіття Шеннона. При зростанні цього показника індекси флуктуаційної асиметрії спадають ($r = 0,797$).

Тісний кореляційний зв'язок помічено і в залежності між індексами флуктуаційної асиметрії видів *Nuphar luteum*, *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans* та критеріями

Таблиця 1

Вплив чинників специфічної токсичної дії у донних відкладах на показники флуктуаційної асиметрії найбільш розповсюджених видів деяких макрофітів

Показник	<i>Niphar luteum</i>			<i>Potamogeton perfoliatus</i>			<i>Sabina natans</i>		
	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку
Cd ²⁺	0,7705	8,8829	Тісний	0,7027	7,2579	Тісний	0,3146	2,4359	Слабкий
Co ²⁺	0,3933	3,1437	Тісний	0,3434	2,6865	Слабкий	0,3501	2,7469	Слабкий
Cr ²⁺	0,5716	5,1188	Тісний	0,4955	4,1917	Тісний	0,1077	0,7961	Відсутній
Cu ²⁺	0,8730	13,1524	Тісний	0,8395	11,3546	Тісний	0,6468	6,2328	Тісний
Ni ²⁺	0,4829	4,0525	Тісний	0,4855	4,0808	Тісний	0,5023	4,2687	Тісний
Zn ²⁺	0,8459	11,6565	Тісний	0,8509	11,9048	Тісний	0,6697	6,6268	Тісний

Примітка: вплив зв'язку на результативність ознаки порівняна до критичного табличного значення для $n = 20$ t Стюдента = 2,10.

Таблиця 2

Вплив чинників специфічної токсичної дії у прибережних ґрунтах на показники флуктуаційної асиметрії найбільш розповсюджених видів деяких макрофітів

Показник	<i>Niphar luteum</i>			<i>Potamogeton perfoliatus</i>			<i>Sabina natans</i>		
	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стюдента	Ступінь зв'язку
Ni ²⁺	0,4136	3,3386	Тісний	0,4132	3,3339	Помірний	0,4378	3,5787	Помірний
Co ²⁺	0,5354	4,6588	Тісний	0,4004	3,2107	Помірний	0,3699	2,9254	Слабкий
Zn ²⁺	0,4895	4,1250	Тісний	0,5620	4,9936	Тісний	0,5655	5,0387	Тісний
Cu ²⁺	0,8864	14,0707	Тісний	0,8796	13,5875	Тісний	0,8669	12,7825	Тісний
Cr ²⁺	0,6169	5,7603	Тісний	0,6136	5,7103	Тісний	0,6061	5,5990	Тісний

Примітка: вплив зв'язку на результативність ознаки порівняна до критичного табличного значення для $n=20$ t Стюдента = 2,10.

Взаємозв'язок між основними показниками видового різноманіття та показниками флуктуаційної асиметрії найбільш розповсюджених видів деяких макрофітів

Критерій оцінювання	Коефіцієнт кореляції	Критерій Стьюдента	Характеристика зв'язку
Індекс видового багатства Маргалефа (<i>d</i>)	0,823	10,644	Тісний
Індекс домінування Сімпсона (<i>c</i>)	0,731	7,868	Тісний
Індекс Шеннона (<i>H</i>)	0,797	9,707	Тісний
Індекс вирівняності Пієлу (<i>E</i>)	0,748	8,273	Тісний

Примітка: вагомість зв'язку на результативність ознаки прирівняна до критичного табличного значення для $n = 20$ $t_{\text{Стьюдента}} = 2,00$.

домінування Сімпсона (*c*). При цьому встановлено позитивний зв'язок, тобто зі зростанням індексу Сімпсона коефіцієнти асиметрії також зростали. Обидва показники обернено пропорційні до індексу якості води, отже, є суттєвими індикаторами погіршення стану водойм.

Обернена залежність відмічена і для індексів флуктуаційної асиметрії видів *Nuphar luteum*, *Potamogeton perfoliatus* та *Salvinia natans* до індексу вирівняності Пієлу (*E*). Кореляційний зв'язок при цьому аналогічним до інших груп видоблікових показників як «тісний» ($r = 0,748$).

Отже, порівняльним аналізом виявлено кореляцію з високим ступенем достовірності між значеннями показників біорізноманіття та флуктуаційної асиметрії (табл. 3).

У зв'язку з цим можна стверджувати, що оцінка якості водного середовища існування за показником стабільності розвитку у вигляді коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків рослин-індикаторів обґрунтована, оскільки підтверджується рядом оцінювальних значень інших критеріїв. За виявленими корелятивними зв'язками між показниками стабільності розвитку, видового багатства, загальною різноманітністю та домінуванням можна інтерпретувати величину коефіцієнта асиметрії як показника стану водних фітоценозів.

ВИСНОВКИ

При порівнянні даних хімічного аналізу й коефіцієнта флуктуаційної асиметрії виявлено таке:

1) посилення антропогенного тиску на стан водного середовища призводить до зміщення поліноми розподілу коефіцієнтів асиметрії на 0,01 одиниці для *Potamogeton perfoliatus* і *Salvinia natans* та на 0,005 — для *Nuphar luteum*, а в разі сильного антропогенного тиску основні показники поліноми можуть зміщуватися на 0,015 одиниць для *Potamogeton perfoliatus* і *Salvinia natans* та на 0,010 — для *Nuphar luteum*;

2) спостерігається чітка тенденція до прямолінійної кореляції між коефіцієнтом флуктуаційної асиметрії та вмістом купруму, хрому й цинку в прибережних ґрунтах та донних відкладах, за якими відмічені чіткі реакції в усіх досліджених видів рослин, а збільшення значень коефіцієнта асиметрії виявляється при досягненні пікових концентрацій важких металів;

3) оцінка якості водного середовища існування за показником стабільності розвитку у вигляді коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків рослин-індикаторів обґрунтована, оскільки підтверджується рядом оцінювальних значень інших критеріїв.

За виявленими корелятивними зв'язками між показниками стабільності розвитку, видовим багатством, загальною різноманітністю і домінуванням можна інтерпретувати величину коефіцієнта асиметрії як показник стану водних фітоценозів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress / P.A. Parsons / Biological reviews. — 1990. — Vol. 65, № 2. — P. 131–145.
2. Кузнецов М.Н. Сравнительная характеристика особенностей флуктуирующей асимметрии листьев яблони в разных экологических условиях / М.Н. Кузнецов, Л.В. Гольштин // Сельскохозяйственная биология. — 2008. — № 3. — С. 72–77.
3. Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой как вида биоиндикатора / Е.Л. Константинов: автореф. дис... канд. биол. наук. — Калуга. — 2001. — 21 с.
4. Гуртяк А.А. Исследование флуктуирующей асимметрии и её пригодность для мониторинга зелёных насаждений / А.А. Гуртяк, В.В. Углев // Наука и современность. — 2010. — № 6(1). — С. 38–43.
5. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns / A. Palmer,

- C. Strobeck. Annual review of Ecology and Systematics. — 1986. — 17 (1). — P. 391–421.
6. *Leary R.F.* Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology / R.F. Leary, F.W. Allendorf // Trends in Ecology & Evolution. — 1989. — Vol. 4 (7). — P. 214–217.
 7. *Leung B., Forbes M. R., Houle D.* Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits / B. Leung, M.R. Forbes, D. Houle // The American Naturalist. — 2000. — № 155 (1). — P. 101–115.
 8. *Федонюк Т.П.* Екологічна оцінка стану водних екосистем на основі аналізу стабільності розвитку гідробіонтів / Т.П. Федонюк, Р.Г. Федонюк, А.А. Петрук. Органічне виробництво і продовольча безпека: зб. матеріалів доп. учасн. IV Міжнар. наук.-практ. конф. — Житомир: ЖНАЕУ, 2017. — С. 44–49.
 9. *Бедункова О.О.* Стабільність розвитку та цитогенетичний гомеостаз іхтіопопуляцій річки Случ у сучасних умовах антропогенного навантаження / О.О. Бедункова // Рибогосподарська наука України. — 2015. — № 1. — С. 56–70.
 10. *Ратушна Н.С.* До питання комплексної оцінки урбосередовища. / Н.С. Ратушна, Н.М. Корнелюк // Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції: тези Міжвуз. наук.-практ. конф. студ., асп. і молодих уч. — Житомир: ЖДТУ. — 2015. — 88 с.
 11. Флуктуирующая асимметрия листа рдеста пронзеннолистного как индикационный показатель качества водной среды / Власова Е.А., Белова П.А., Фёдорова Т.А., Щербаков А.В. // Гидробиотаника 2005: материалы VI Всерос. школы-конф. по водным макрофитам. — Ярославль: ВНИИ биологии внутренних вод. — 2006. — С. 227.
 12. Растения водотоков и водоёмов города Орехово-Зуево как объект изучения флуктуирующей асимметрии / Маслова О.В. и др. // Вестн. Москов. гос. ун-та. Сер. Естественные науки. — 2014. — № 3. — С. 19–25.
 13. *Goulder R.* Day-time variations in the rates of production by two natural communities of submerged freshwater macrophytes / R. Goulder // The Journal of Ecology. — 1970. — № 58. — P. 521–528.
 14. *Janauer G.A., Schmidt B., Schmidt-Mumm U.* Macrophytes in the Danube River. The Danube River Basin / G.A. Janauer, B. Schmidt, U. Schmidt-Mumm // Springer Berlin Heidelberg. — 2014. — P. 341–358.
 15. *Vesić A.* Ecological preferences of charophytes in Serbia in relation to habitat type and other aquatic macrophytes / A. Vesić, J. Blaženčić, J. Šinžar-Sekulić // Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. — 2016. — № 150 (3). — P. 490–500.
 16. Macrophyte diversity of lakes in the Pannon Ecoregion (Hungary) / Lukács B. A. et al. // Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters. — 2015. — № 53. — P. 74–83.
 17. *Mal T.K.* Effect of copper on growth of an aquatic macrophyte, *Elodea canadensis* // T. K. Mal, P. Adorjan, A.L. Corbett // Environmental Pollution. — 2002. — № 120 (2). — P. 307–311.
 18. *Room P.M.* Vigorous plants suffer most from herbivores: latitude, nitrogen and biological control of the weed *Salvinia molesta* / P.M. Room, M.H. Julien, I.W. Forno // Oikos. — 1989. — № 54. — P. 92–100.
 19. Здоровье среды: методика оценки / Захаров В.М. и др. — М.: Центр экологич. политики России, 2000. — 65 с.