

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЯК ОСНОВА ВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ

Н. А. ПАШКЕВИЧ, кандидат біологічних наук, старший науковий
співробітник, завідувач відділом динаміки популяцій
ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»
E-mail: pashkevych.nataly@gmail.com

Анотація. Розроблено алгоритм виділення критеріїв структурно-функціональних змін біосистеми для моніторингу стану біоти і відхилень від її нормального природного стану на різних рівнях організації живого під впливом біотичних і абіотичних факторів, в умовах змін клімату. На основі аналізу формалізованих показників біорізноманіття пропонується виділити критерії екологічного моніторингу: індикатори природного типу біосистеми (екосистеми, ценозу, популяції), антропогенних змін та індикатори збереженості екосистеми. Для досягнення вказаної мети пропонується такий алгоритм дій: підбір та оцінювання таксономічних груп організмів аборигенних видів; підбір, установлення співвідношення та оцінювання стану еврибонтних і стенобонтних організмів; підбір та оцінювання стану видів і угруповань раритетної компоненти біосистеми; установлення рівня порушеності біосистеми; на основі системи критеріїв розроблення інтегрального показника оцінювання стану біосистеми, а також формування пропозицій щодо контролю та моніторингу стану видів та екосистем за умов кліматичних змін.

Ключові слова: оцінювання впливу, критерії, біосистема, антропогенні зміни.

Актуальність. В останні десятиріччя зростає стурбованість посиленням антропогенного впливу на кліматичну систему Землі, змінами клімату та їхнім впливом на природу та людину, що спонукає світове товариство вживати активних зусиль, як стосовно дослідження проблеми, так і щодо її розв'язання. Опубліковано основоположні міжнародні [1] й українські зведення та звіти (підписано Рамкову Конвенцію ООН щодо зміни клімату і ратифіковано Кіотський протокол), [2, 3] у яких детально описуються причини і масштаби антропогенного впливу на кліматичну систему і даються прогнози на майбутнє (зростання загрози катастрофічних повеней у Карпатах, перетворення степів південного регіону на пустелі, затоплення прибережних частин у центральних та східних регіонах України, зниження продуктивності лісу на всій території України тощо). Антропогенні зміни клімату глобального масштабу часто непросто виділити на фоні природних кліматичних змін і локальних антропогенних впливів. Проте це необхідно робити. Одним з ефективних і ощадливих методів вирішення проблем оцінювання змін середовища на різних рівнях є моніторинг-моделювання-прогнозування із залученням біологічних об'єктів, які є

чутливими індикаторами навіть незначних коливань екологічних чинників біосистем. Зміни середовища викликають структурні порушення біоти та її компонентів на різних рівнях організації. Згідно з Конвенцією про біологічне різноманіття [4] збереження природних екосистем є першочерговим завданням, а ведення системного моніторингу їхнього стану та оцінювання ступеня антропогенної трансформації – базою для розроблення державних програм і відповідних регіональних планів дій.

Функціонування державної системи екологічного моніторингу в умовах кліматичних змін потребує розроблення нових науково обґрунтованих підходів до вибору екологічних критеріїв (у тому числі кризових) оцінювання природного стану і трансформації вразливих екосистем, пошуку нових методів кількісної та якісної індикації. При цьому вибраний ряд індикаторних критеріїв має бути не лише показовим, але й доступними у використанні для широкого кола фахівців, зіставним з наявними міжнародними підходами. Правильно підібраний комплекс індикаторних критеріїв дасть змогу об'єктивно оцінити причинно-наслідкові зв'язки між структурно-функціональними елементами екосистем, їхній поточний стан; спрогнозувати подальшу їх трансформацію, визначити граничні межі допустимих змін, що не призведуть до катастрофічних результатів.

На сьогодні в країні методологічну базу оцінювання структурних системних змін біоти, викликаних змінами середовища існування, недостатньо розроблено. На шляху до створення критеріїв оцінювання стану біосистем потрібно сформулювати інтегральну оцінку з детальною розшифровкою як за кількісними, так і за якісними показниками. Так, стан основних типів екосистем м. Києва оцінено за структурно-функціональними показниками накопичення біомаси, продукції, деструкції [5], а серед багатьох підходів до визначення стану водних об'єктів до таких показників запропоновано додати показник таксономічного різноманіття та складності угруповань [6]. Подібні роботи проводять у багатьох установах країни, проте для розв'язання проблеми необхідна інтеграція різних підходів і наук про біоту (систематики, морфології, екології тощо), що дасть змогу адекватно показати суть організації, розвитку та поточного стану біологічних систем різного рівня, віддзеркалить стан, механізм їх гомеостазу та рівень трансформації в умовах трансформації.

Мета роботи – розроблення алгоритму виділення критеріїв структурно-функціональних змін біосистеми для моніторингу стану біоти і відхилень від її нормального природного стану на різних рівнях: організменому, популяційно-видовому, екосистемному – під впливом біотичних і абіотичних факторів, в умовах змін клімату.

Результати дослідження та їх обговорення. Під час комплексних системних досліджень з метою оцінювання трансформації біосистем буде підібрано ряд модельних об'єктів, що будуть у найбільш збереженому природному відносно стійкому стані, які відповідатимуть стадії розвитку, максимально наближеній до клімаксової. При цьому необхідно підібрати комплекс якісних і кількісних характеристик біоти на популяційному, видовому та екосистемному рівнях організації, що є структурно-функціональними показниками (видове та ценотичне біорізноманіття, чисельність, віталітет, онтогенез тощо) біосистеми, з високим ступенем інформативності, які можна використовувати як інтегральні індикатори для діагностики порушень досліджених модельних об'єктів з урахуванням

кліматичних, едафічних чинників і антропогенного впливу. У дослідженні для виділення критеріїв оцінювання стану екосистем запропоновано такі показники: динаміка популяцій модельних видів (популяційна варіабельність морфометричних параметрів виду, онтогенетичний і віталітетний аналіз), видове різноманіття (типологічна структура, ступінь натуралізації (для чужорідних) та збереженості (видів раритетних категорій), ценотична приуроченість, рівномірність просторового розподілу видів тощо), структура і стан угруповань.

На основі аналізу формалізованих показників біорізноманіття запропоновано виділити такі критерії екологічного моніторингу:

1. Індикатори природного типу екосистеми (оцінка таксономічних і біотопічних груп, що відображують різноманіття найважливіших біологічних компонентів цього типу екосистеми – аборигенних видів, видів-ценозоутворювачів, природних оселищ тощо).

2. Індикатори антропогенних змін в екосистемі (аналіз складу та співвідношення еврибіонтних і стенобіонтних організмів; структури та площі біотопів; рівня синантропізації екосистеми).

3. Індикатори збереженості екосистеми (оцінка стану раритетної компоненти екосистеми – рідкісних, зникаючих видів, внесених до міжнародних та регіональних Червоних списків, раритетних угруповань, біотопів, що потребують охорони).

Під час моніторингу необхідно розрізняти об'єкти, які характеризуватимуть поточний стан біоти [7]: популяції рідкісних видів рослин і тварин різних категорій; популяції індикаторних видів, які є типовими, характерними для типу ценозу, екосистеми, регіону чи фоновими; ключові території, що перебувають у певному режимі охорони (об'єкти природно-заповідного фонду, території Смарагдової мережі чи Рамсарські угіддя); модельні види та рослинні угруповання з переліку «Зеленої книги України», Директиви I тощо. У дослідженні використовуються традиційні популяційні, флористичні, зоологічні, геоботанічні та статистичні методи.

Розроблення системи оцінювання реакцій біологічних об'єктів на порушення природного середовища, які можуть використовуватися для індикації рівня антропогенних впливів на екосистеми сьогодні є дуже актуальною. Так, запропоновано систему оцінювання реакцій тварин на порушення природного середовища [8] на екосистемному, популяційному та організаційному рівнях у числових показниках з числових показників. Показано, що переважна більшість їх мають низьку придатність у зв'язку з нестачею наукової інформації. Серед якісних індикаторів для рівня антропогенних впливів на екосистеми автори пропонують лише видову різноманітність і щільність популяцій.

Вплив довкілля на живі організми характеризується різними показниками збереження біорізноманіття, до яких зазвичай належать кількість видів рослин, особливо вищих, і тварин, у тому числі ссавців, птахів, плазунів, земноводних, риб тощо; кількість видів, яких охороняють, які занесено до Червоної Книги України та міжнародних реєстрів; кількість видів, що перебувають під загрозою зникнення; ліси, у тому числі площі, що покриті лісом, та лісистість території, а також санітарний стан лісів; площі територій природо-заповідного фонду.

Проте інформативність цих показників є відносною. Так, під час вселення адвентивних видів до природних систем на перших етапах відбувається загальне збільшення видового складу (за рахунок видів-вселенців). Але при значній трансформації самої біосистеми (ценозу) насичення чужорідними видами в подальшому призводить до ефекту плато, а потім заміщення природних видів, що супроводжується зменшенням їхньої кількості та тяжіє до монотипних маловидових угруповань. Тому потрібно не лише аналізувати кількісні показники, але й відстежувати динаміку змін і направленість. Так, нами проаналізовано розподіл чужорідних видів у різних типах біотопів охоронюваних територій Лісостепу України [9]. Оцінено стан цих територій за допомогою запропонованого Індексу інвазіабельності біотопів (*Ibin*), що дає змогу провести не лише кількісний аналіз стану екосистем за адвентивною компонентою, але й якісний – встановити найчутливіші місця, спрогнозувати тенденції подальшого розвитку сценарію.

Для виділення основних чинників впливу на модельні екосистеми запропоновано, проаналізувавши відповіді біоти на них (на популяційному, видовому та екосистемному рівнях), підібрати критерії для визначення рівнів трансформації біосистем і виявлення критичних елементів, вплив на які може спричинити зміни середовища, виокремивши антропогенний вплив. Для досягнення цієї мети пропонується такий алгоритм дій:

1. Підбір та оцінювання таксономічних груп організмів, що відображують систематичне різноманіття найважливіших біологічних компонентів цього типу біосистеми (аборигенних видів).

2. Підбір, установлення співвідношення та оцінювання стану еврибонтних і стенобіонтних організмів як запорука цілісного функціонування екосистеми.

3. Підбір та оцінювання стану видів і угруповань раритетної компоненти екосистеми.

4. Оцінювання рівня синантропізації екосистеми, установлення рівня її порушеності (оцінювання стану ґрунту, видове різноманіття, перелік і характеристика чужорідних видів тощо).

5. На основі системи критеріїв визначення характеру та напрямків трансформації біосистем, розроблення інтегрального показника оцінювання їхнього стану, а також формування пропозицій щодо контролю та моніторингу стану видів та екосистем за умови кліматичних змін.

Для оцінювання раритетної компоненти біоти є чимало розробок. Проте найбільшою проблемою є не стан біоти (такі дані переважно можна отримати), а дотримання законодавства з охорони рідкісних видів, угруповань і територій. Фрагментація і деградація середовища існування збільшують швидкість вторгнення чужорідних видів у нові райони за межами їхнього первинного ареалу. Великий відсоток чужорідних організмів виявляє інвазійні властивості, що призводить до порушення екологічної стійкості природних екосистем. Під час моніторингу адвентивних видів часто усі дії природоохоронців і чиновників направлені на боротьбу з карантинними видами (рослин – *Ambrosia artemisifolia*, *Heracleum sosnowskyi*; риб – *Perccottus glenii*; молюсків – *Dreissena polymorpha*; реброплавів – *Mnemiopsis leidyi*; комах – колорадський жук (*Leptinotarsa decemlineata*); грибів – фітофтора (*Phytophthora cinnamomi*), поза якою втрачається

розуміння причин нашої чужорідних видів, а тим більше не ставиться питання механізмів запобігання іншим потенційно інвазійним видам (павловнія, робінія тощо). Наше завдання розробити механізм, який спростить оцінювання та діагностування стану біоти і дасть можливість побудувати прогностичні моделі за допомогою простих і доступних індикаторів різних категорій, врахування яких одночасно дасть змогу невеликій групі експертів провести якісний аналіз гарячих точок структурних змін біоти за короткий термін.

Розроблення інтегрального показника оцінювання стану екосистем потребує інтеграції даних щодо функціонування різних компонент екосистем і стосовно їхніх взаємозв'язків (концентрації речовини на вході та виході) та проведення досліджень на різних рівнях організації із застосуванням широкого спектра методів, зокрема таксономічних, флористичних, фауністичних, геоботанічних, екологічних, польових та експедиційних. Таким інтегральним показником для контролю та моніторингу стану видів та екосистем, зокрема за умов і кліматичних змін, може бути система критеріїв визначення характеру та напрямків трансформації екосистем під впливом біотичних і абіотичних факторів,

Висновки і перспективи. Для визначення динаміки та напрямків перебігу змін стану екосистеми необхідно забезпечити можливість використання найчутливіших індикаторних показників біоти на градієнті трансформації навколишнього середовища, здатних відображати вплив глобальних змін клімату на екосистеми.

Список використаних джерел

1. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. – 2014. – 151 pp.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. – 2016. – 350 с.
3. Національна доповідь України про виконання Рамсарської конвенції про водно–болотні угіддя до 11–го засідання Конференції Договірних Сторін конвенції [Електронний ресурс]. – Румунія. – 2012 р.
4. Конвенція про біологічне різноманіття п'ятий національний звіт України – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2015. – 67 с.
5. Дідух Я.П. Екологічна оцінка збитків від втрати природних біотопів м. Києва / Я.П. Дідух, І.Г. Вишенська, У.М. Альошкіна, С.О. Гаврилов, О.І. Навроцька // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. - 2013. - Т. 142. - С. 54-60.
6. Воліков Ю.М. Оцінка еколого-санітарного стану основного річкового русла київської ділянки канівського водосховища за показниками макрозообентосу і зоопланктону / Ю.М. Воліков, Т.С. Рибка // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2015, №3-4 (64). – С. 100-103.
7. Загороднюк І. Програма моніторингу видів тварин і рослин, що охороняються в Луганській області / І. Загороднюк, О. Микитюк, М. Перегрим // Збірник наукових праць Луганського природного заповідника - 2011. – С. 5-19.
8. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О.Г. Васенко, О.В. Рибалова, С.Р. Артем'єв, Н.С.

Горбань, Г.В. Коробкова, В.О. Полозенцева, О.В. Козловська, А.О. Мацак, А.А. Савічев. – Х: НУГЗУ, 2015. – 419 с.

9. Pashkevych N. Spread of alien plant species in the habitats of the Ukrainian Forest Steppe / N. Pashkevych, R. Burda // *Ekológia (Bratislava)*. - 2017, Vol. 36 (1). – P. 133–141.

References

1. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. – 2014. – 151 pp.

2. Natsional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyscha v Ukrayini u 2014 rotsi. – K.: Ministerstvo ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny, FOP Hrin' D.S. – 2016. – 350 s.

3. Natsional'na dopovid' Ukrayiny pro vykonannya Ramsars'koyi konventsiyi pro vodno–bolotni uhiddy do 11–ho zasidannya Konferentsiyi Dohovirnykh Storin konventsiyi [Elektronnyy resurs]. – Rumuniya. – 2012 r.

4. Konventsiya pro biolohichne riznomanittya p'yatyy natsional'nyy zvit Ukrayiny – K.: Ministerstvo ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny, 2015. – 67 s.

5. Didukh Ya.P. Ekolohichna otsinka zbytkiv vid vtraty pryrodnykh biotopiv m. Kyieva / Ya.P. Didukh, I.H. Vyshens'ka, U.M. Al'oshkina, S.O. Havrylov, O.I. Navrots'ka // *Naukovi zapysky NaUKMA. Biolohiya ta ekolohiya*. - 2013. - T. 142. - S. 54-60.

6. Volikov Yu.M. Otsinka ekolocho-sanitarnoho stanu osnovnoho richkovoho rusla kyyivs'koyi dilyanky kanivs'koho vodoskhovyscha za pokaznykamy makrozoobentosu i zooplanktonu / Yu.M. Volikov, T.S. Rybka // *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser. Biol.* – 2015, №3-4 (64). – S. 100-103.

7. Zahorodnyuk I. Prohrama monitorynhu vydiv tvaryn i roslyn, shcho okhoronyayut'sya v Luhans'kiy oblasti / I. Zahorodnyuk, O. Mykytyuk, M. Perehrym // *Zbirnyk naukovykh prats' Luhans'koo pryrodnoho zapovidnyka* - 2011. – S. 5-19.

8. Intehral'ni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyscha: monohrafiya / O.H. Vasenko, O.V. Rybalova, S.R. Artem'yev, N.S. Horban', H.V. Korobkova, V.O. Polozentsyeva, O.V. Kozlovs'ka, A.O. Matsak, A.A. Savichyev. – Kh: NUHZU, 2015. – 419 s.

9. Pashkevych N., Burda R.: Spread of alien plant species in the habitats of the Ukrainian Forest Steppe // *Ekológia (Bratislava)*. - 2017, Vol. 36, No. 1, p. 133–141.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК ОСНОВА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА

Н. А. Пашкевич

Аннотация. Разработан алгоритм выделения критериев структурно-функциональных изменений биосистемы для мониторинга состояния биоты и отклонений от ее нормального естественного состояния на различных уровнях организации живого под влиянием биотических и абиотических факторов, в условиях изменений климата. На основе анализа формализованных показателей биоразнообразия предлагается выделить критерии экологического мониторинга: индикаторы природного типа биосистемы (экосистемы, ценоза, популяции), антропогенных изменений и индикаторы сохранности экосистемы. Для достижения указанной цели предлагается следующий

алгоритм действий: подбор и оценка таксономических групп организмов аборигенных видов; подбор, установление соотношения и оценка состояния эврибионтных и стенобионтных организмов; подбор и оценка состояния видов и сообществ раритетной компоненты биосистемы; установление уровня нарушенности биосистемы; на основе системы критериев разработка интегрального показателя оценки состояния биосистемы, а также формирование предложений по контролю и мониторингу состояния видов и экосистем в условиях климатических изменений.

Ключевые слова: *оценка воздействия, критерии, биосистема, антропогенные изменения.*

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL INDICATORS OF CHANGES OF BIOLOGICAL SYSTEMS AS THE BASIS FOR MONITORING

N. Pashkevych

Abstract. *For monitoring the state of biota and its deviation from normal natural state at different levels of living organization, under the influence of biotic and abiotic factors, in conditions of climate change, we have developed an algorithm for marking criteria for structural and functional changes in the biosystem. Basis of the analysis of formalized markers of biodiversity proposed to allocate environmental monitoring criteria: indicators of the natural type of the biosystem (ecosystems, cenosis, populations), antropogenic changes and indicators of ecosystem conservation. To achieve this goal we propose the following algorithm: selection and evaluation of various taxonomic groups of native species; selection, correlation and assessment of the state of eurybionic and stenobiont organisms; selection and assessment of species and communities rarity components of biological systems; establish the level of disturbance biosystems; on the basis of criteria to develop integrated parameter assessment of biological systems, and forming proposals for control and monitoring of species and ecosystems under conditions of climate change.*

Keywords: *impact assessment, criteria, biosystem, anthropogenic changes.*