

Екологія

УДК 574 / 578 + 577.4

## ПОШУК БІОМАРКЕРІВ СТАНУ ЕКОСИСТЕМИ

Й. Царик\*, І. Царик\*\*

\*Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

\*\*Інститут екології Карпат НАН України

вул. Козельницька, 4, Львів 79026, Україна

Розглянуто деякі біомаркери стану екосистем: різні групи популяцій; провідні види; консорційна організація. Зроблено висновок, що універсальний біомаркер стану екосистем поки що не відомий, а для ефективної його оцінки доцільно використовувати комплекс показників.

*Ключові слова:* екосистема; біомаркери; групи популяцій; провідні види; консорції.

Одним із сучасних завдань екології є пошук біомаркерів стану екосистем різних ієрархічних рівнів від консорції до біосфери. Можна зробити припущення, що біомаркерами екосистеми можуть бути як їх елементи (особини, популяції, біоценози, ектопи), так і процеси.

Під терміном "стан екосистем" ми розуміємо сучасну їхню структурну організацію, функціонування та перспективи на майбутнє. Слід вказати, що проблема пошуку біомаркерів надзвичайно складна, оскільки тут необхідно на основі аналізу елементів, процесів зробити висновок про стан цілої екосистеми.

Метою цієї публікації є привернути увагу дослідників до пошуку різних біомаркерів стану екосистеми. Цей пошук триває вже довгий час. Так, у 1991 р. Й. В. Царик [9] обґрунтував концепцію аналізу стратегій популяцій фітоценотичного ядра автотрофного блоку екосистем, на основі якого з'явилася можливість оцінити його сучасний стан, а також перспективу. Дослідниками Г. Г. Жилієвим, Й. В. Цариком [3], Й. В. Цариком [12] було з'ясовано, що в межах фітоценозу на підставі уявлень про стратегії видів, їхній взаємний вплив можна виділити чотири функціональні групи популяцій: провідну; стабілізуювальну; доповнювальну і випадкову. *Провідна група* є обов'язковою для первинних і вторинних ценозів, *стабілізуювальна група* об'єднує популяції видів, які щодо провідної групи відіграють стабілізуючу роль. *Доповнювальна група* найбільш чисельна на популяції видів, *випадкова група* – необов'язкова і нечисельна. У первинних фітоценозах, а відтак в екосистемах, співвідношення популяцій різних видів у цих групах подібне. За чисельністю популяцій переважають стабілізуювальна і доповнююча групи, відсутня випадкова. Під час дигресивних змін екосистем зростає кількість популяцій випадкової групи, суттєво зменшується їх кількість у стабілізуювальній і доповнюючій групах та майже зовсім випадає провідна група популяцій. Таким чином, аналізуючи організацію фітоценозу з позиції стратегії популяцій, можна зробити прогноз щодо його розвитку або занепаду.

Цей підхід щодо виділення біомаркерів стану ефективний для екосистем рангу біогеоценозу згідно з класифікацією М. А. Голубця [2], який виділяє такі екосистеми: *консортивна; парцелярна; біогеоценозна; ландшафтна; провінційна; біомна; субстратна і біосферна*. Другий підхід щодо виділення біомаркерів стану екосистем рангу

ландшафтної, провінційної, біомної і, можливо, субстратної та біосферної є виділення в них провідних видів, яких в екосистемі може бути небагато. Це зумовлює певну колізію, коли на підставі кількох видів ми робимо висновок про життєздатність сотень і тисяч їх (цілої екосистеми, наприклад, біомної). У той же час М. Е. Сулей [8] під час аналізу цієї колізії звернув увагу на один із найдавніших законів екології – закон мінімуму Лібіха: "життєздатність біологічної системи лімітована тим чинником, потреба в якому задоволена найменше". Нерідко, власне, провідні види відіграють у екосистемах саме роль обмежувальних чинників, а це дає підставу для твердження, що фундаментальне їх дослідження є ефективним підходом під час встановлення стану екосистем.

Згідно з М. Е. Сулеем, роль провідних видів екосистем можуть відігравати:

- види, які завдяки своїй життєдіяльності створюють умови для існування інших (види-едифікатори);
- види – мутуалісти, які своєю діяльністю сприяють відтворенню або розселенню інших видів;
- рідкісні види.

Провідні види можна аналізувати за допомогою методів морфології, репродуктивної біології, систематики, фізіології, популяційної екології тощо. У контексті розвитку цього підходу О. О. Кагало, Й. В. Царик і К. В. Дорошенко [4] пропонують як біомаркери стану екосистем використовувати структурно-функціональні параметри їхніх популяцій. Але найбільш інформативним, на нашу думку, є консортивний аналіз провідних видів, які виступають ядрами (детермінантами) консорцій. На рівні консорції як елементарної екосистеми найповніше проявляються взаємовідносини між особинами різних видів організмів. *Консорція* – сукупність особин різних видів, у центрі якої перебуває організм (організми) будь-якого автотрофного чи гетеротрофного виду, з яким пов'язані трофічними, топічними, фабричними, форетичними зв'язками особини інших видів, і під впливом їхньої взаємодії формується специфічне мікросередовище. Якщо в центрі консорції розглядають особину, то це *індивідуальна консорція*, якщо популяцію – *популяційна консорція*. Жоден організм не існує поза консорцією. Смерть ядра консорції призводить до смерті облігатних (обов'язкових) консортів і порушення життєдіяльності факультативних (необов'язкових) [10].

Тому аналіз організації та функціонування консорцій може бути самостійним підходом, спрямованим на встановлення стану консортивної і парцелярної екосистеми, а дослідження консортивної організації провідних видів дає змогу оцінити стан екосистем вищих ієрархічних рівнів (біогеоценотичних, ландшафтних, провінційних, біомних та інших).

Як ми вже згадували, біомаркерами стану екосистем є едифікатори автотрофних блоків. Одним із таких едифікаторів є *Pinus mugo Turro* (сосна муго), яка формує клімаксові гірськососнові угруповання – маркери субальпійського поясу Карпат. Ці угруповання мають вироблену структуру і збалансовані функції (Малиновський, [6, 1], Голубець, 1978). Вони виконують важливу ґрунтозахисну і водорегулюючу роль у гірських районах [13], але внаслідок нераціональної господарської діяльності, «дикої» рекреації їх площі постійно зменшуються [7, 10]. Таким чином, досліджуючи консортивну структуру сосни муго в різних умовах її росту, можна охарактеризувати стан екосистем субальпійського поясу Карпат.

Другим не менш цікавим провідним видом може бути *Rumex alpinus* L., (щавель альпійський), який формує рудеральні угруповання на місці лучних вторинних ценозів унаслідок нераціональної їх експлуатації.

Розглянемо фактичні дані щодо консортивної організації сосни муго та щавлю альпійського. Досліджуючи ядро консорції – сосну муго – встановлено, що найбільше її скелетних осей ( $23000 \pm 3300$  особин на гектар) виявлено в сосняку сфагновому (оліготрофні умови росту), а найменше – ( $17800 \pm 2100$  скелетних осей особин на гектар) в сосняку чорничево-різнотравному (мезотрофні умови росту сосни). Стосовно маси особин спостерігається зворотна залежність: найменшу масу має скелетна вісь сосни в оліготрофних умовах (порівняння зроблене для генеративних зрілих скелетних осей).

Облігатні консорти сосни, властиві для хвої, репродуктивних органів, живих гілок, коріння (у всіх її умовах росту), за систематичним складом подібні.

З хвоею трофічно пов'язані представники родини *Geometridae* і слоники роду *Tanymecus Schonh.* З репродуктивними органами тісно співіснують попелиці роду *Jachmus*, пильщики ткачі (рід *Acantolyda*), пильщики родів *Diprion*, *Gilpina*, довгоносики роду *Otiorynchus*, а з шишками – *Pissodes validirostris Gryllp.*, *Glis glis* та інші. Облігатними консортами живих гілок є представники метеликів (*Lepidoptera*) роду пагонові в'юни (*Evetria*). Серед пагонових в'юнів виявлено *Evetria buolina Schiff.*, *E. turionana Hb.*, *E. duplona Hb.*, *E. resinella Hb.* Від життєдіяльності пагонових в'юнів втрати маси гілок на площі  $50 \text{ м}^2$  у середньому становлять: оліготрофні умови росту сосни –  $78,0 \text{ г}$ , мезотрофні –  $92,0 \text{ г}$ .

З корінням сосни топічно і трофічно пов'язані фітонематоди, яких виявлено 41 вид зі 7 родів. Домінують види рядів *Telenchidae* (36,0%), *Daryaimidae* (29,3%), *Tetracepholida* (19,6%). Найменша видова різноманітність фітонематод виявлена в оліготрофних умовах сосняку сфагнового. Вирубування сосни призводить до втрати облігатних консортів і низки факультативних, зокрема хребетних тварин, змінюється структура комплексу безхребетних підстилки. У випадку вибіркового відчуження живих гілок сосни для виготовлення лікувальних препаратів зростає частота трапляння облігатних консортів живих гілок (пагонових в'юнів) і коріння (комплекс нематод).

Щавель альпійський, на відміну від сосни муго, є едифікатором рудеральних угруповань, які формуються на місцях стійбищ худоби та у ґрунті яких спостерігається висока концентрація азотистих речовин.

Угруповання щавлю альпійського характеризується бідним видовим складом рослин. Їхня заміна на інші угруповання, у випадку зняття антропогенного навантаження, відбувається протягом кількох десятків років. У консортивних зв'язках зі щавлем альпійським перебуває 35 видів комах із 18 родин. За видовим складом домінують *Staphilionidae*. Із виявлених у щавельникових угрупованнях комах 38,3% – фітофаги; 50% – хижаки і 11,7% – сапрофаги. Облігатними консортами щавлю (крім проростків і ювенільних особин) є щавелеїд зелений (*Gastrophysa viridula Deg.*), а кореневищ – личинки представників родів *Otiorynchus*, *Gastrophysa* та родини *Staphilionidae*.

Щавелеїд зелений за вегетаційний сезон відчужує до 46,7% листової маси щавлю альпійського, відчуження кореневої маси незначне.

На відміну від угруповань сосни муго, в угрупованнях щавлю альпійського облігатні консорти відчужують значно більшу масу надземної частини детермінанта консорції.

На основі аналізу двох консорцій (сосни муго і щавлю альпійського) можна констатувати, що наявність облігатних консортів, їхня видова різноманітність, участь у відчуженні маси можуть бути показниками походження стану (первинні, вторинні) [5] консорційних екосистем і їх детермінантів. На особливу увагу як біомаркер стану екосистем заслуговує їх фітонематодний комплекс [5]. Будь-яка трансформація екосистеми

відображається на його систематичному складі та функціональній організації.

На основі консортивних досліджень з'являється можливість оцінити не лише структуру екосистеми, умови її існування (оліготрофні, мезотрофні, дію антропогенних чинників), але й стадії сукцесійних змін. Цікаві дані щодо зміни структури і функціонування консорцій автотрофних блоків у дигресивно-демутаційних серіях смерекового лісу в Українських Карпатах отримані Й. Цариком [11]. Встановлено, що найбільш суттєво зміни в консортивній організації автотрофів дигресивно-демутаційних серій смерекового лісу проявляються у відчуженні облігатними консортами живої фітомаси та деструкції сапротрофами мертвих рослинних решток. У дигресивних сукцесіях зростає відчуження маси і знижується деструкція мертвих рослинних решток, а в демутаційних (відновлювальних) – навпаки, спостерігається зменшення відчуженої маси, але збільшується маса деструкції.

Підводячи загальний підсумок, можна зробити висновок, що поки що не знайдено універсального біомаркера стану екосистем. Кожен маркер відображає якусь одну зі сторін функціонування екосистем. Для ефективної оцінки стану екосистем доцільно використовувати комплекс біомаркерів.

1. Голубець М. А. Ельники Украинских Карпат. К.: Наук. думка, 1978. 263 с.
2. Голубець М. А. Екосистемологія. Львів: Поллі, 2000. 345 с.
3. Жилієв Г. Г., Царик Й. В. Структурно-функціональна організація фітоценозів Карпат // Структура високогірних фітоценозів Українських Карпат. К.: Наук. думка, 1993. С. 39–48.
4. Кагало О. О., Царик І. В., Дорошенко К. В. Структурно-функціональні параметри популяцій і біомаркери стану екосистем у сучасних умовах трансформації середовища – постановка проблем // Промислова ботаніка: стан та перспективи: Матеріали V Міжнар. конф. 24–26 вересня 2007 року, м. Донецьк. Донецьк: Вид-во Донецьк. бот. саду НАН України, 2007. С. 181–189.
5. Козловський М. П., Царик І. Й. Фітонематодні комплекси первинних екосистем *Pinetum tugo* // Значення та перспективи стаціонарних досліджень для збереження біорізноманітності: Матеріали конф., присв. 40-річчю функціонування високогірного біолог. стаціонару на г. Пожижевська. Львів: Поллі, 1998. С. 87–89.
6. Малиновський К. А. Характеристика об'єкту стаціонарних досліджень // Біологічна продуктивність Карпат. К.: Наук. думка, 1975. С. 69–77.
7. Малиновський К. А. Рослинність високогір'я Українських Карпат. К.: Наук. думка, 1980. 278 с.
8. Сулей М. Е. Введение // Жизнеспособность популяций: природоохранные аспекты. М.: Мир, 1989. С. 10–22.
9. Царик І. В. Ценопопуляционная структура высокогорных сообществ Карпат: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Днепропетровск, 1991. 43 с.
10. Царик І. Й. Консортивна структура сосни муго (*Pinus mugo Turra*) в Чорногірському високогір'ї Українські Карпати: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 1999. 19 с.
11. Царик Й. В. Вікова структура автотрофних компонентів біогеоценозів та їх організація // Структура високогірних фітоценозів Українських Карпат. К.: Наук. думка, 1993. С. 29–38.
12. Царик Й. В. Перспективи та принципи популяційних досліджень фітоценозів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2007. Вип. 43. С. 27–33.
13. Чубатий О. В. Соснові криволісся Українських Карпат. К.: Наук. думка, 1965. 174 с.

**SEARCH OF ECOSYSTEM STATE BIOMARKERS****Y. Tsaryk\*, I. Tsaryk\*\***

*\*Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine*

*\*\*Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine  
4, Kozelnytska St., Lviv 79026, Ukraine*

Some biomarkers of the ecosystems state such as different groups of populations, dominating species, consortium organization are considered. It is elucidated that right now there is no universal biomarker of the ecosystems state. Therefore it is expediently to use the complex of indices for its effective assesment.

*Key words:* ecosystem, biomarkers, populations groups, dominating species, consortiums.

Стаття надійшла до редколегії 11.01.08

Прийнята до друку 24.01.08