

В. Л. Булахов<sup>1</sup>, И. Г. Емельянов<sup>2</sup>, А. Е. Пахомов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет,

<sup>2</sup>Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСНОВА ЭКОСИСТЕМ

Наведено результати багаторічних досліджень по вивченню ролі біорізноманіття у формуванні біотичних зв'язків і проявленні функцій екосистем. Проаналізовано залежність від різноманіття величини екологічної стійкості екосистеми і можливості її екологічної реабілітації.

### Введение

Биоразнообразие как общебиологическая и экологическая проблема современности возникла в XIX веке, на нее обратил внимание еще Ч. Дарвин. В своей знаменитой работе «Происхождение видов», где подчеркнута действие естественного отбора на животные и растительные организмы, он указывал на равновесие между выживанием и вымиранием.

Разнообразие живых организмов всегда обращало на себя внимание исследователей. В первоначальном подходе к изучению разнообразия отмечено стремление описать растительный и животный мир в отдельном регионе или континенте в таксономическом отношении. С усилением воздействия человека на природные процессы возникло новое направление – изучение влияния различных антропогенных факторов на разнообразие биоты, тесно связанное с важнейшей задачей сохранения генофонда.

Эти два подхода в настоящее время тесно связаны между собой и определяют научные основы охраны природы, воспроизводства биологических ресурсов и рационального природопользования. Но значение биоразнообразия как экологической проблемы далеко выходит за пределы указанных подходов. Оно охватывает весь срез живой материи в интеграции всех биологических дисциплин [15].

Несмотря на важность указанной проблемы, ее в современном понимании начали изучать лишь немногим более трех десятилетий назад. Интенсивность исследований резко возросла с последнего десятилетия XX века. Ю. Р. Шеляг-Сосонко [14] обратил внимание на то, что биоразнообразие в значительной степени предопределяет как успешность выживания человечества, так и его мировоззрение. Поэтому в комплексном изучении нуждаются как теоретические, так и прикладные вопросы биоразнообразия.

### Материал и методы исследований

Изучение биоразнообразия почвенных беспозвоночных и наземных позвоночных животных было проведено в 1970–2002 гг. на Присамарском международном биосферном стационаре и в различных лесных экосистемах, функционирующих под жестким техногенным прессингом в условиях промышленного Приднепровья. Методологической основой работы послужили положения о структурно-типологических особенностях естественных и искусственных лесов степной зоны Украины, разработанные А. Л. Бельгардом [2]. Почвенно-зоологические, микробиологические исследования и изучение физико-химических свойств почв проводились на основе современных апробированных методик.

## Результаты и их обсуждение

Среди множества вопросов, разрабатываемых в контексте учения о биоразнообразии, в настоящее время важное значение имеют:

- определение значения биоразнообразия в функционировании биосистем на различных уровнях их организации;
- установление характера связей и возможных механизмов, обеспечивающих гомеостаз биосистем в ходе их существования и развития;
- выяснение роли разнообразия в функционировании и эволюции экосистем;
- оценка роли биоразнообразия как составляющей функциональной производной в восстановлении и экологической реабилитации экосистем в условиях жесткого прессинга антропогенных факторов.

Для решения указанных вопросов требуется универсальный подход к данной проблематике, соответствующий многоуровневому понятию биоразнообразия. Оно может быть отнесено к химическим элементам, молекулам, клеткам, тканям, органам, популяциям, сообществам, экосистемам [8] и, в конечном счете, может быть оценено в проявляющемся атрибуте материального мира, который реализует себя через разнообразие [7; 8; 12].

Постепенное осмысление биосферной роли биоразнообразия, его универсальности приближают нас к познанию уровней организации живого в системном аспекте с учетом их иерархического упорядочения [7–10; 16]. В этой связи на экосистемном уровне необходимы более обстоятельные исследования биоразнообразия, как важнейшей основы формирования механизмов противодействующих различным антропогенным и, особенно, техногенным факторам.

Любая экологическая система для своего существования и для поддержания гомеостаза должна обязательно иметь определенную величину разнообразия биогеоценотических связей, по количеству и качеству соответствующих уровню организации системы и компенсирующих влияние деструктивных антропогенных факторов.

Прежде всего, гомеостаз поддерживается за счет видового разнообразия биоты и выполняемых ею функций. В этом плане следует говорить о функциональном разнообразии, которому до настоящего времени не уделялось достаточного внимания. Понимание этого вопроса возникло в процессе изучения функциональной роли биотических элементов в различных биогеоценотических процессах. Исследования последних лет [3; 7; 8; 11; 13] показали, что экологическая устойчивость и нормальное функционирование системы базируется на множественности и комплементарности организмов, способных к взаимозаменяемости.

Видовое и функциональное разнообразие взаимосвязаны. Они определяют многоканальность разнообразных межэкосистемных, биогеоценотических, парцеллярных и консортивных связей. Многоканальность обеспечивает высокий уровень материально-энергетического обмена в системе, взаимозаменяемость биотических элементов в проявлении частных и общих функций. Чем сложнее система, тем она устойчивее к воздействию неблагоприятных антропогенных факторов. С усложнением организации системы растет видовое разнообразие биоты, возрастает ее функциональное значение в проявлении функций биогеоценозов. С другой стороны, значение видового разнообразия определяет уровень организации системы. Это взаимозависимый и взаимообусловленный процесс в развитии и эволюции экосистем. Так, в ряду разных типов экосистем: пустыня, степь, лес умеренной зоны и тропический лес, биоразнообразие возрастает с каждой ступенью на порядок. В связи с этим наиболее уязвимыми в напряженных экологических условиях являются более упрощенные экосистемы.

Равная антропогенная нагрузка в разных по уровню организации экосистемах приводит к различной степени обеднения биоразнообразия. Так, интенсивное загрязнение степных и лесных экосистем (одинаковыми ингредиентами в равных количествах) в условиях промышленного Приднепровья привело к катастрофической деструкции первых и умеренной трансформации вторых [3]. В различных типах лесных экосистем влияние промышленного загрязнения вызывает различную степень обеднения биоразнообразия. Это наглядно можно продемонстрировать на примере состояния сообществ высших гетеротрофов (позвоночных животных) в различных степных лесах (табл. 1). Приведенные данные свидетельствуют о том, что чем выше уровень организации лесных экосистем, отличающихся типом древостоя, полистациональностью, уровнем продуктивности и другими структурно-типологическими особенностями, тем большее видовое разнообразие высших гетеротрофов сохраняется при равной степени техногенного пресса.

Таблица 1

**Влияние промышленного загрязнения на видовое разнообразие позвоночных животных в лесах Степного Приднепровья**

Лесные экосистемы	Уровни загрязнения тяжелыми металлами (в ПДК)					
	0–1	2–5	8–10	0–1	2–5	8–10
	Количество видов			Индекс обеднения		
Белоакациевая лесополоса в степи	48	27	12	1,00	0,56	0,23
Искусственное белоакациевое насаждение	66	47	23	1,00	0,71	0,35
Искусственное дубово-ясеневое насаждение	109	91	56	1,00	0,83	0,51
Пойменная липо-ясеневая дубрава (естественная)	182	167	167	1,00	0,92	0,69

Снижение темпов обеднения видового разнообразия при увеличении степени загрязнения в более сложных лесных экосистемах свидетельствует о большей их экологической устойчивости. Причину этого мы видим в множественности и возможности комплементарного замещения одних видов другими в проявлении функций системы. С учетом того, что высокое разнообразие сообществ гетеротрофов обеспечивает нормальное функционирование экосистем, можно в данном случае говорить о том, что оно обеспечивает более высокую степень целостности всей системы.

На экологическую устойчивость и на биоразнообразие значительное влияние оказывает и средообразующая деятельность животных. Различные функциональные проявления животных, обуславливающие биогеоценотические процессы и формирование экологических условий, способствуют сохранению и восстановлению биоразнообразия. На примере изучения средообразующей деятельности млекопитающих (роющая и экскреторная) в различных экосистемах показано значительное повышение уровня организации экосистем [1; 3; 11].

За счет оптимизации физико-химических свойств эдафотопы и увеличения степени биоразнообразия важнейших почвообразователей – микрофлоры и почвенной фауны – активизируются биологические процессы. Разнообразие микрофлоры под воздействием роющей и экскреторной деятельности млекопитающих возрастает на 21,7–54,6 %, таксономический состав – в 1,5–9,0 раз. Увеличивается и видовое разнообразие флористического комплекса (в зависимости от времени воздействия млекопитающих оно возрастает на 25–125 %). Видовой состав микроартропод и почвен-

ных простейших увеличивается соответственно на 13–17 и 37–180 %, почвенной мезофауны – на 14–160 %; численность повышается на 50–400 %. При этом, значительно изменяется функциональная структура почвенного блока зооценоза за счет роста количества видов и численности сапрофагов и хищников и уменьшения – фитофагов. Увеличение численности важнейших функциональных элементов ведет к возрастанию степени комплементарности биоты и, в целом, к повышению экологической устойчивости экосистемы. Это особенно важно в условиях усиленного техногенного воздействия на экосистемы.

Экспериментальное изучение средообразующей деятельности животных показало, что оптимизация физико-химических условий, изменение органо-минеральной части эдафотопы обуславливает блокирование тяжелых металлов путем перевода их из подвижных в неподвижные металлорганические соединения. Это, в свою очередь, способствует восстановлению биоразнообразия важнейших биотических элементов (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние средообразующей деятельности млекопитающих на восстановление функциональных биотических элементов в условиях техногенного загрязнения эдафотопы в искусственных дубово-ясеневых насаждениях**

Функциональные биотические элементы	Незагрязненная почва (контроль)	Почва, загрязненная тяжелыми металлами	При воздействии млекопитающих в загрязненных почвах		Эффективность восстановления, % к контролю		
			роющая деятельность	эксреторная деятельность	роющая деятельность	эксреторная деятельность	
Микрофлора, млн. кл./г почвы	1,3–1,7	0,8–1,1	1,0–1,8	1,1–1,6	74,6–105,9	84,6–94,1	
Зоо-деструкторы	Количество видов	14–18	11–12	12–16	14–17	85,7–88,8	94,4–100,0
	Численность, ос./м <sup>2</sup>	109–159	80–85	90–113	97–125	71,1–81,7	78,6–88,1
	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	7,2–8,8	3,4–4,8	5,4–6,7	6,2–7,5	76,4–86,1	76,1–85,2

Восстановление видового разнообразия и количественного состава важнейших биотических элементов в эдафотопе ведет, как правило, к экологической реабилитации всей системы.

Общая эффективность средообразующего воздействия на биогеоценотические процессы и на восстановление функциональных биотических элементов в условиях техногенной трансформации тесно сопряжена с видовым разнообразием и количественным составом средообразователей. На примере млекопитающих численность роющих форм и общий видовой состав животных определяли в лесополосе (2 и 24 вида соответственно), искусственном дубово-ясеневом насаждении (4 и 36 видов) и пойменной липо-ясеневой дубраве (11 и 48 видов). Одновременно с количеством видов при повышении уровня организации экосистемы растет численность и биомасса.

Из приведенных фактических материалов можно сделать однозначный вывод о том, что биоразнообразие, отражающее уровень организации экосистем, является функциональной их основой, способной противостоять воздействию техногенных факторов. Это вполне согласуется с общей теорией гомеостаза Р. Эшби [18] о регуля-

торной функции организмов в состоянии среды. О накоплении информации в организмах, популяциях, сообществах свидетельствует нарастание свободной энергии в процессе их развития путем сменяющих друг друга роста и дифференцировки структур, обеспечивающих процесс комплементарности [6; 17].

Одним из важнейших проявлений системности могут выступать вещественно-энергетические потоки, регулируемые информационным воздействием других элементов материально-энергетического обмена [5]. В процессе своего функционирования экосистемы стремятся к постоянному накоплению свободной энергии, благодаря которой они способны совершать работу против сил, направленных на достижение термодинамического равновесия [8].

### Заключение

Анализ современной литературы и данные собственных исследований показали, что биоразнообразие отражает не только состояние и уровень организации экосистем, но и определяет их функцию в биосфере. Оно должно служить научной основой для организации практических мер по оптимизации экосистем в условиях антропогенной трансформации и экологической реабилитации обработанных промышленным или сельскохозяйственным производством земель.

### Библиографические ссылки

1. **Абатуров Б. Д.** Млекопитающие как компонент экосистем. – М.: Наука, 1984. – 286 с.
2. **Бельгард А. Л.** Степное лесоведение. – М.: Лесная промышленность. – 336 с.
3. **Булахов В. Л.** Характеристика средообразующей деятельности позвоночных животных в лесах степной зоны юго-востока УССР // Вопросы степного лесоведения. – Д.: ДГУ, 1973. – Вып. 4. – С. 117-125.
4. **Булахов В. Л.** Біорізноманіття як фактор екологічно-стійких екосистем в умовах посиленого антропогенного тиску // Збереження біорізноманіття в Україні. – К.: ЕГЕМ, 1997. – С. 20-21.
5. **Второв П. П., Второва В. Н.** Эталоны природы (Проблемы выбора и охраны). – М.: Наука, 1983. – 207 с.
6. **Емельянов И. Г.** Изменение скорости роста некоторых внутренних органов в различных весовых группах популяции рыжей полевки // Тр. 2-го Всесоюз. совещ. по млекопитающим. – М.: МГУ, 1975. – С. 75-78.
7. **Емельянов И. Г.** Разнообразие и устойчивость биоты // Успехи современ. биологии. – 1994. – Т. 114, № 3. – С. 304-308.
8. **Емельянов И. Г.** Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. – К., 1999. – 168 с.
9. **Малиновский А. А.** Общие особенности биологических уровней и чередование типов организации // Развитие концепции структурных уровней в биологии. – М.: Наука, 1972. – С. 271-276.
10. **Наумов Н. П.** Структура и саморегуляция биологических макросистем // Биологическая кибернетика. – М.: Высшая школа, 1977. – С. 336-397.
11. **Пахомов А. Е.** Биогеоэкологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины. В 2 т. – Д.: ДГУ, 1999. – Т. 1. – 232 с.; Т. 2. – 216 с.
12. **Хайлов К. М.** Биологическая организация и информация // Журн. общей биологии. – 1966. – Т. 27, № 4. – С. 436-447.
13. **Чернова Н. М.** Биологическое разнообразие и структура почвенных сообществ // Проблемы почвенной зоологии. – Новосибирск, 1991. – С. 149-152.
14. **Шеляг-Сосонко Ю. Р.** Ідеологія і механізми охорони навколишнього середовища // Укр. ботан. журн. – 1995. – Т. 52, № 5. – С. 589-599.

15. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Емельянов И. Г. Экологические аспекты концепции биоразнообразия // Экология та ноосферология. – 1997. – Т. 3, № 1-2. – С. 131-140.
16. Шилов И. А. Структура живых систем биосферы и биогеоценология // Общие проблемы биогеоценологии. – М.: Наука, 1990. – С. 4-9.
17. Шмальгаузен И. И. Рост и общие размеры тела в связи с их биологическим значением // Рост животных. – М.-Л.: АН СССР, 1935. – С. 61-73.
18. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. – М.: Иностран. лит., 1959. – 432 с.

*Надійшла до редколегії 5.04.03.*

УДК 57.063.7+575.856

І. В. Загороднюк, І. Г. Ємельянов

*Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України*

## **ВИД В ЕКОЛОГІЇ ЯК ПОПУЛЯЦІЙНА СИСТЕМА ТА ЯК КОМПОНЕНТ БІОТИЧНОГО УГРУПОВАННЯ**

Вид як популяційна система характеризується механізмами підтримки своєї цілісності шляхом забезпечення панміксії, що, у свою чергу, є основою для формування індивідуальної мінливості та наступності поколінь. Вид як компонент угруповання є носієм поняття еконіша, і його головним завданням стає утримання цієї ніші та максимізація об'єму ресурсів, які він контролює. Головні відмінності цих двох проявів виду полягають у системі взаємодії на рівні особин: у межах популяції ці взаємодії спрямовані на репродуктивне об'єднання усіх особин одного виду та їх депресію при експлуатації ресурсів. Взаємодії на рівні біотичного угруповання, навпаки, спрямовані на репродуктивну ізоляцію від інших видів та забезпечення різних форм співпраці з ними, що й забезпечує стабілізацію еконіши. Найбільша стабільність при цьому буде спостерігатись у системах, утворених видами з різних надвидів або родів.

### **Вступ**

Поняття «виду» в екології суттєво відрізняється від його поширених тлумачень як класифікаційної категорії та еволюційної одиниці. В екології, користуючись поняттям «вид», дослідники керуються не поняттями типових екземплярів чи швидкості морфологічних і генетичних перетворень, а поняттями демографічними, ресурсними, факторними тощо [2].

Вид – це динамічна популяційна система, що активно змінюється у просторі і часі [10; 25]. Для тлумачення виду як популяційної системи необхідно зважати на те, що ековид складається із однієї популяції, і, хоча таких популяцій у складі таксономічного виду може бути більше, в кожному угрупованні вид представлений лише однією з них. З іншого боку, в структурі угруповань вид являє собою певний екоморфологічний тип (екотип Туренсона) і визначається через інші види: тут ефективно виявляється концепція «вид-брат» [19; 20; 21]. Порівнянню цих двох підходів до тлумачення поняття «вид» в екології і присвячено цю працю.

### **Суть логічного конфлікту**

Для пояснення виду (зокрема, виду в екології) як сутності запропоновано кілька різних концепцій, у тому числі розпізнавальна [31], згадана концепція «вид-брат» [19], ампліфікаційна концепція [13]. Ці підходи дозволяють поєднати під поняттям «вид» такі різні популяційні групи, як клептони, гібриди, клони і «звичайні» (подібні до нас) панміктичні системи бісексуальних організмів [15]. Всі такі типи ор-