

# МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ СХОДСТВА БИОЦЕНОЗОВ

**И.Д. КОТЛЯРОВ,**

*факультет географии и геоэкологии, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** биоценоз, индекс сходства биоценозов, индекс видового сходства, экосистема.



Теоретические основы оценки сходства биоценозов

Очевидно, что каждый биоценоз Б обладает набором из  $N_B$  характеристик, причем в общем случае значение  $N_B$  является разным для разных биоценозов. Различия между биоценозами обуславливаются двумя факторами:

1. Биоценозы обладают разными наборами характеристик. Будем называть различия, обусловленные несовпадением перечней признаков, качественными.

2. Значения параметров, описывающих характеристики, совпадающие у обоих биоценозов, являются разными.

3. Эти различия будем называть количественными.

Иными словами, каждый признак, которым обладает биоценоз, сам имеет две характеристики: текстовое описание (например, "удельный вес пихты") и количественную меру (например, 60%). Несовпадение текстового описания ведет к качественным различиям, а количественных мер - к количественным.

С учетом вышеизложенного и исходя из общих соображений построение предполагаемого индекса сходства биоценозов (ИСБ) должно базироваться на следующих основаниях:

1. Значения ИСБ должны находиться в диапазоне от 0 до 1; 0 соответствует отсутствию сходства

между рассматриваемыми биоценозами, 1 - их совпадению по выбранному набору признаков.

2. Наличие факторов, обеспечивающих как качественное, так и количественное различие между рассматриваемыми биоценозами, должно вести к уменьшению значения ИСБ.

3. ИСБ по определению является относительной, а не абсолютной характеристикой биоценоза и рассчитывается относительно какого-либо другого биоценоза.

Индексом, используемым в экологии для оценки сходства биоценозов, является индекс видового сходства. Проанализируем возможность его применения в качестве инструмента для оценки близости биоценозов.

Индекс видового сходства рассчитывается по следующей формуле (Одум, 1986):

$$ИВС = \frac{2M}{N_x + N_y} \times 100\%, \quad (1)$$

ИВС - индекс видового сходства, %,  $M$  - число признаков, совпадающих у обоих биоценозов,

$N_x$  - число признаков у биоценоза  $X$ ,

$N_y$  - число признаков у биоценоза  $Y$ .

Очевидно, что при расчете ИВС отбрасываются только те параметры, которые обеспечивают качественное различие между биоценозами. Существование количественных различий во внимание не принимается. Факт простого наличия одного и

того же признака у обоих биоценозов рассматривается как совпадение биоценозов по этому параметру независимо от значения этого параметра у каждого биоценоза. Это вполне оправданно, так как по определению индекс видового сходства характеризует сходство двух биосистем по наличию какого-либо вида в каждом биоценозе, а не существование различия в удельном весе этого вида в обоих биоценозах. Однако по этой причине ИВС является инструментом для определения только покомпонентного сходства биоценозов. Для оценки степени сходства в полном смысле слова (т.е. в том числе структурной близости, иными словами, близости значений совпадающих признаков) он использоваться не может.

Тем не менее, ИВС может послужить основой для конструирования ИСБ. Ниже предлагается алгоритм расчета ИСБ, базирующийся на ИВС.

Построение индекса сходства биоценозов

Основной задачей при конструировании ИСБ на основе ИВС является учет факторов, обеспечивающих количественное различие между биоценозами.

Очевидно, что индекс ИСБ должен

***Biocenosis, an index of similarity of biocenosis, an index of specific similarity, ecosystem.***

рассчитываться по следующей базовой формуле:

$$ИСБ = \frac{2Z}{N_x + N_y}, \quad (2)$$

ИСБ - индекс сходства биоценозов, %,

Z - число признаков, значения которых совпадают у обоих биоценозов,  
 $N_x$  - число признаков у биоценоза X,

$N_y$  - число признаков у биоценоза Y.

Пусть M - число признаков, присутствующих у обоих биоценозов. В этом случае справедлива формула:

$$Z = M - \sum_{i=1}^M f(x_i, y_i),$$

$x_i$  - значение i-го признака биоценоза X,

$y_i$  - значение i-го признака у биоценоза Y,

$f(x_i, y_i)$  - функция, подобранная таким образом, что

$$f(x_i, y_i) = \begin{cases} 0, & x_i = y_i \\ 1, & x_i \neq y_i \end{cases}. \quad (3)$$

Необходимо задать функцию  $f(x_i, y_i)$  в явном виде. Для этого можно воспользоваться функцией  $\text{sign}(x)$ :

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 0, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}.$$

Функция  $f(x_i, y_i)$  может быть выражена следующим образом:

$$f(x_i, y_i) = \text{sign}|x_i - y_i| \quad (4)$$

Следует указать, что выражение (4) для функции  $f(x_i, y_i)$  не является единственно возможным. Например, ее можно было бы записать при помощи символа Кронекера  $\delta_{ik}$ :

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 1, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}$$

В этом случае  $f(x_i, y_i)$  будет задан следующим образом:

$$f(x_i, y_i) = 1 - \delta_{x_i, y_i}.$$

Выражение (4) представляется более предпочтительным по той причине, что оно может быть использовано при автоматическом расчете ИСБ, так как функция  $\text{sign}(x)$  в отличие от символа Кронекера включена в стандартный набор функций табличного процессора Microsoft Excel (наиболее доступного программного средства обработки данных).

С учетом тождества (4) формула (2) для расчета ИСБ может быть записана в следующем виде:

$$ИСБ = \frac{2 \left( M - \sum_{i=1}^M \text{sign}|x_i - y_i| \right)}{N_x + N_y}. \quad (5)$$

Легко убедиться, что сконструированный индекс сходства биоценозов - формула (5) - удовлетворяет всем трем сформулированным к нему требованиям.

Тем не менее, предлагаемая методика расчета ИСБ также не свободна от недостатков. Дело в том, что в соответствии с формулой (5) совпадающими будут признаны лишь те биоценозы, у которых совпадает не только число одинаковых признаков, но и значения этих признаков. Однако в практических целях часто бывает разумным считать совпадающими те биоценозы, у которых значения одинаковых признаков различаются не более чем на какую-то заранее установленную величину. Следовательно, следует преобразовать тождество (3) таким образом, чтобы в нем учитывалась возможность расхождения значений одинакового параметра на фиксированную величину, т.е.:

$$\Psi(x_i, y_i) = \begin{cases} 0, & |x_i - y_i| \leq \Delta_i^y \\ 1, & |x_i - y_i| > \Delta_i^y \end{cases}$$

$\Delta_i^y$  - допустимая величина расхождения между значениями i-го признака у биоценозов X и Y.

Функцию  $\Psi(x_i, y_i)$  также необходимо задать в явном виде, что можно сделать при помощи уже использованной выше функции  $\text{sign}(x)$ :

$$\Psi(x_i, y_i) = \text{sign}(1 - \text{sign}(|x_i - y_i| - \Delta_i^y)). \quad (6)$$

Окончательная формула для расчета индекса сходства биоценозов будет иметь следующий вид:

$$ИСБ = \frac{2 \left( M - \sum_{i=1}^M \text{sign}(|x_i - y_i| - \Delta_i^y) \right)}{N_x + N_y}. \quad (7)$$

При всей внешней громоздкости формула (7) позволяет гораздо более корректно с практической точки зрения рассчитать степень сходства биоценозов, чем формула (5) (очевидно, что формула (5) является предельным случаем формулы (7) при  $\Delta_i^y = 0$ ).

Для того чтобы предлагаемая методика расчета ИСБ приобрела пол-

ностью формализованный вид, необходимо разработать алгоритм нахождения числа совпадающих признаков M, которое на сегодняшний день определяется вручную путем непосредственного сравнения списков признаков (т.е. их текстовых описаний) обоих сравниваемых биоценозов в случае индекса видового сходства (Одум, 1986).

Ясно, что число совпадающих признаков у двух биоценозов не может превышать число признаков того из двух сравниваемых биоценозов, который обладает наименьшим числом характеристик:

$$M \leq \min(N_x, N_y).$$

Предположим для простоты, что  $\min(N_x, N_y) = N_x$ .

Текстовое описание каждого признака биоценоза X необходимо сравнить с текстовыми описаниями всех признаков биоценоза Y. Если текстовое описание признака биоценоза X совпадет с текстовым описанием одного из признаков биоценоза Y, то этот признак является совпадающим у обоих биоценозов (или, что равнозначно, качественные различия по этому признаку у сравниваемых биоценозов отсутствуют). Очевидно, что каждый признак биоценоза X может совпадать не более чем с одним признаком биоценоза Y. Для формализации этого сравнения следует воспользоваться текстовой функцией  $\text{СОВПАД}(x, y)$ :

$$\text{СОВПАД}(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq y \end{cases}$$

переменные x и y задаются в текстовом формате (по сути дела, функция является аналогом символа Кронекера для текстовых данных).

При помощи этой функции и на основе описанного выше алгоритма последовательного сопоставления i-го признака биоценоза X со всеми признаками биоценоза Y число совпадающих признаков будет рассчитываться следующим образом:

$$M = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_y} \text{СОВПАД}(x_i, y_j).$$

### Выводы

Предлагаемый индекс сходства биоценозов позволяет точнее оценить степень близости биоценозов, так как он учитывает существование не только качественных, но и количественных отличий между экосистемами.

### Литература

Одум Ю. Экология. - М.: Мир., 1986.

<sup>1</sup> Как известно, в математике то или иное отображение в общем случае может быть задано при помощи более чем одного алгоритма.