

УДК 581.55

И.Д. Котляров

Северо-Западный институт печати С.-Петербургского государственного университета технологии и дизайна



Котляров Иван Дмитриевич родился в 1974 г., окончил в 1998 г. С.-Петербургскую инженерно-экономическую академию, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга Северо-Западного института печати С.-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Имеет 2 печатные работы в области лесной таксации и изучения природных ресурсов.
E-mail: IvanKotliarov[lrpg@mail.ru]

ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ СХОДСТВА БИОЦЕНОЗОВ И МЕТОДИКА ЕГО РАСЧЕТА

Предложен индекс, позволяющий оценить степень сходства биоценозов. Описан математический алгоритм его расчета.

Ключевые слова: биоценоз, признак, различие.

Теоретические основы оценки сходства биоценозов. Каждый биоценоз обладает своим набором из N_6 характеристик. Различия, обусловленные несовпадением перечней признаков биоценозов, назовем качественными; различия в значениях параметров характеристик, совпадающих у биоценозов, – количественными.

Сравнение биоценозов А и Б, %

Характеристика	Биоценоз А	Биоценоз Б
<i>a</i>	10	–
<i>b</i>	–	25
<i>c</i>	10	10
<i>d</i>	25	35
<i>e</i>	35	25
<i>f</i>	15	–
<i>g</i>	5	5

Рассмотрим два биоценоза А и Б с набором характеристик, представленным в таблице. Из нее видно следующее:

- биоценозы А и Б полностью совпадают по характеристикам *c* и *g*;
- по характеристикам *a*, *b* и *f* наблюдается качественное различие: *a* и *f* отсутствуют у биоценоза Б, *b* – у биоценоза А;
- характеристики *d* и *e* в обоих случаях представлены, но их количественные значения отличаются.

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

1. Значения ИСБ находятся в диапазоне от 0 до 1; 0 соответствует отсутствию сходства между рассматриваемыми биоценозами, 1 – их совпадению по выбранному набору признаков. Сопоставление производится

только по этому набору, поскольку перечислить и измерить все характеристики биоценоза технически крайне сложно (фактически невозможно). Кроме того, полное совпадение биоценозов по выбранным признакам не свидетельствует о полной идентичности биоценозов, для доказательства которой необходимо сравнение по всем характеристикам.

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

3. ИСБ по определению является относительной характеристикой биоценоза и рассчитывается в сравнении со значением для какого-либо другого биоценоза. В экологии для оценки близости биоценозов используется индекс видового сходства (ИВС, %), который рассчитывают по формуле [1]

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

где M – число признаков, совпадающих у обоих биоценозов;
 N_x, N_y – число признаков у биоценозов X и Y соответственно.

При расчете ИВС отбрасывают те параметры, которые обеспечивают качественные различия между биоценозами, количественные во внимание не принимают. Простое наличие одного и того же признака рассматривают как совпадение биоценозов по нему независимо от его значения у каждого биоценоза. Это вполне оправданно, так как ИВС характеризует сходство двух биосистем по наличию какого-либо вида в каждой из них, а не по его доле. По этой причине ИВС является инструментом для определения только покомпонентного сходства биоценозов; для оценки степени сходства в полном смысле слова он неприменим. Тем не менее, ИВС может послужить основой для конструирования ИСБ. Ниже предлагается алгоритм расчета ИСБ.

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 рассчитываться по базовой формуле

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

где Z – число признаков, значения которых совпадают у обоих биоценозов (в условном примере в таблице это признаки c и g).

Пусть M – число признаков, присутствующих у обоих биоценозов (которыми обладают оба сравниваемых биоценоза, хотя их количественные характеристики могут не совпадать; в рассмотренном условном примере это признаки c, d, e, g).

Чтобы найти Z , необходимо вычесть из M число признаков, присутствующих у обоих биоценозов, но имеющих разные значения у каждого из них (в нашем примере d и e). В этом случае справедлива формула

$$Z = M - \sum_{i=1}^M f(x_i, y_i), \quad (3)$$

где x_i, y_i – значения i -го признака биоценозов X и Y соответственно;

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

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

Иными словами, эта функция равна 0, если значения соответствующего признака одинаковы у обоих биоценозов, и 1, если они не совпадают. Таким образом, величина $\sum_{i=1}^M f(x_i, y_i)$ равна числу признаков, присутствующих у обоих биоценозов, но не совпадающих по значению.

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:

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

Ее можно записать также при помощи символа Кронекера δ_{ik} :

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

В этом случае

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

Выражение (4) более предпочтительно. 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 (4) формула (2) может быть записана в следующем виде:

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

Легко убедиться, что этот сконструированный индекс сходства биоценозов удовлетворяет всем трем предъявляемым к нему требованиям. Тем не менее, предлагаемая методика расчета ИСБ также не свободна от недостатков. В соответствии с формулой (5) совпадающими будут признаны лишь биоценозы, у которых совпадают не только число одинаковых признаков, но и их значения. Однако в практических целях разумнее считать совпадающими биоценозы, у которых значения одинаковых признаков различаются не более чем на какую-то заранее установленную величину. Следовательно,

* Как известно, в математике то или иное отображение в общем случае может быть задано при помощи более чем одного алгоритма.

следует преобразовать формулу (3) таким образом, чтобы в ней учитывалась возможность такого расхождения:

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

где Δ_i^{xy} – допустимое расхождение 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 использовавшейся выше функции $\text{sign}(x)$:

$$\Psi(x_i, y_i) = 1 - \text{sign} \left[-\text{sign} \left(|x_i - y_i| - \Delta_i^{xy} \right) \right]. \quad (6)$$

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

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

При всей внешней громоздкости формула (7) позволяет гораздо более корректно с практической точки зрения рассчитать степень сходства биоценозов, чем формула (5), которая является предельным случаем формулы (7) при $\Delta_i^{xy} = 0$. Аналогично формула (1) для расчета ИВС является предельным случаем формулы (7) при $\Delta_i^{xy} = |x_i - y_i|$.

Для того чтобы предлагаемая методика расчета ИСБ приобрела полностью формализованный вид, необходимо разработать алгоритм определения числа совпадающих признаков M , которое на сегодняшний день находят вручную, непосредственно сравнивая списки признаков (т. е. их текстовых описаний) обоих биоценозов (в случае определения индекса видового сходства [1]).

Ясно, что число совпадающих признаков у двух биоценозов M не может быть больше, чем у обладающего наименьшим числом характеристик:

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

Предположим для простоты, что

$$\min(N_x, N_y) = N_x.$$

Необходимо сравнить текстовые описания каждого признака биоценоза X и всех признаков биоценоза Y . Если есть совпадение по одному из них, то он является совпадающим у обоих биоценозов. Очевидно, что каждый признак биоценоза X может совпадать лишь 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 $\text{СОВПАД}(x, y)$ является аналогом символа Кронекера для тек-

стовых 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 будем рассчитывать следующим образом:

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

Интегральный показатель сходства биоценозов. В предложенной методике расчета индекса сходства биоценозов не уточняется, по каким именно признакам сравнивают рассматриваемые биоценозы. Однако эти признаки могут существенно различаться, и в ряде случаев их объединение в одном индексе может быть некорректным с методологической точки зрения. Поэтому если биоценозы сопоставляются по принципиально различающимся признакам, предложенная методика должна быть скорректирована следующим образом.

1. Все признаки, по которым сравнивают биоценозы, разбивают на однородные группы (например, для лесных биоценозов при их сопоставлении с таксационной точки зрения такими группами могут быть «Древесные ресурсы», «Недревесные ресурсы» и «Охотничьи ресурсы»).

2. Для каждой группы признаков рассчитывают индекс сходства биоценозов (называем его частным индексом сходства) по формуле (7).

3. Биоценозы сравнивают отдельно по частным индексам.

4. Если необходимо сопоставить биоценозы по всей совокупности рассматриваемых признаков, вводят интегральный индекс сходства биоценозов (ИИСБ), рассчитываемый по формуле

$$\text{ИИСБ} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \text{ЧИСБ}_j} , \quad (8)$$

где m – число выделенных однородных групп признаков;

ЧИСБ_j – частный индекс сходства биоценозов для j -й группы признаков.

Такой подход гораздо более корректен, так как позволяет учесть разнородность признаков биоценозов.

Выводы

Предлагаемые варианты расчета индекса сходства биоценозов позволяют точнее оценить степень близости биоценозов, так как они учитывают существование не только качественных, но и количественных различий между экосистемами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одум, Ю. Экология [Текст] / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986.

Поступила 01.09.09

I.D. Kotlyarov

Northwestern University of Printing, Saint-Petersburg State University of Technology and Design

Index of Biocenoses Affinity and its Calculation Method

An index allowing to assess the biocenoses similarity degree is offered. The mathematical algorithm of its calculation is described.

Keywords: biocenosis, feature, difference.
