

О многокомпонентных инвариантах и их использование в экологии растений

On multicomponent invariants and their use in plant ecology

Сёмкин Б. И., Варченко Л. И., Горшков М. В.

Semkin B. I., Varchenko L. I., Gorshkov M. V.

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. E-mail: semkin@tigdvo.ru
Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Реферат. Рассматриваются математические методы для определения многокомпонентных инвариантов. Предлагается новый тип дескриптивных наборов (множеств) – нормированные в целом дескриптивные наборы с исключением нуля и единицы. Для этого типа дескриптивных наборов приводятся многоместные меры сходства. Установлены четырёхкомпонентные экологические инварианты высокотравного сообщества Камчатки в весенние и летние фазы развития фитоценоза.

Ключевые слова. Высокотравное сообщество, дескриптивные наборы, инвариант сообщества, многокомпонентный инвариант, многокомпонентный экологический инвариант, относительные спектры.

Summary. Mathematical methods for determining of multicomponent invariants are considered. A new type of descriptive sets (multitudes) is proposed – generally normalized descriptive sets, with the exception of the zero and one. For this type of descriptive sets multi-seat similarity measures are provided. Four-component ecological invariants of the high-grass community of Kamchatka in the spring and summer phases of phytocenosis development are established.

Key words. Community invariant, descriptive sets, multicomponent invariant, multicomponent ecological invariant, relative spectra, tall-grass community.

Введение. Понятие экологический инвариант используется в экологии сравнительно недавно (Сёмкин, Гусарова, Горшков, 2012; Сёмкин, Варченко, 2019; Сёмкин, Варченко, Горшков, 2019). В данной работе приводится понятие многокомпонентного экологического инварианта и рассматриваются математические методы анализа таких инвариантов. Постоянство и неизменность таких инвариантов устанавливаются с помощью многоместных мер сходства. В связи с этим определена специальная многоместная мера сходства K_0 (Сёмкин, Горшков, 2012; Semkin, 2012, 2015; Semkin, Gorshkov, 2014), которая была преобразована для дважды нормированных дескриптивных наборов.

Материалы и методы. Необходимые данные для расчёта четырёхкомпонентных инвариантов высокотравного сообщества взяты из работ (Сёмкин и др., 1973; Песенко, Сёмкин, 1989; Сёмкин, Варченко, 2019).

Рассмотрим четырёхкомпонентные экологические инварианты.

Определим их с помощью дважды нормированных дескриптивных наборов – нормированные в целом и по компонентам с исключением значений 0 и 1. Формально их определим как дескриптивный набор:

$$P^{(i)} = (P_1^{(i)}, \dots, P_4^{(i)}),$$

где $0 < P_1^{(i)} < 1$, $0 < P_2^{(i)} < 1$, $0 < P_3^{(i)} < 1$, $0 < P_4^{(i)} < 1$; $P_1^{(i)} + P_2^{(i)} + P_3^{(i)} + P_4^{(i)} = 1$

Дескриптивный набор с указанными свойствами называют также относительным спектром.

Относительные спектры, имеющие высокую степень сходства между собой, являются четырёхкомпонентными экологическими инвариантами. Сравнить относительные спектры будем с помощью трёхместных и шестиместных мер сходства, которые в преобразованном виде примут вид:

$$K_0(P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(3)}) = \frac{3-S}{2};$$

$$S = \max(P_1^{(1)}, P_1^{(2)}, P_1^{(3)}) + \max(P_2^{(1)}, P_2^{(2)}, P_2^{(3)}) + \max(P_3^{(1)}, P_3^{(2)}, P_3^{(3)}) + \max(P_4^{(1)}, P_4^{(2)}, P_4^{(3)});$$

$$K_0(P^{(4)}, P^{(5)}, P^{(6)}, P^{(7)}, P^{(8)}, P^{(9)}) = \frac{6-S}{5};$$

$$S = \max(P_1^{(4)}, P_1^{(5)}, P_1^{(6)}, P_1^{(7)}, P_1^{(8)}, P_1^{(9)}) + \max(P_2^{(4)}, P_2^{(5)}, P_2^{(6)}, P_2^{(7)}, P_2^{(8)}, P_2^{(9)}) + \max(P_3^{(4)}, P_3^{(5)}, P_3^{(6)}, P_3^{(7)}, P_3^{(8)}, P_3^{(9)}) + \max(P_4^{(4)}, P_4^{(5)}, P_4^{(6)}, P_4^{(7)}, P_4^{(8)}, P_4^{(9)}).$$

Обозначения дескриптивных наборов и их компонентов приведены в примечании к таблице.

Результаты и обсуждения.

Многокомпонентные экологические инварианты для камчатского крупнотравного сообщества.

Рассмотрим крупнотравное сообщество Камчатки (Сёмкин и др., 1973) четырёх видов: лабазника камчатского (шеломайника) – *Filipendula kamtschatica* (Pall.) Maxim., крестовника коноплеволистного – *Senecio cannabifolius* Less., борщевика сладкого – *Heracleum duclae* Fisch., купыря похожего – *Anthriscus aemula* (Woronow) Schisch.

Одноярусный травостой обычно образован одним видом растений с незначительной примесью других. Доминирующим видом является *Filipendula kamtschatica*.

Определим четырёхкомпонентные экологические инварианты для высокотравного сообщества в весеннюю фазу развития $J_4^{(1)} - J_4^{(3)}$ и в летнюю $J_4^{(4)} - J_4^{(9)}$ (см. таблицу). Для трёхкомпонентных и шестикомпонентных относительных спектров рассчитаем трёхместные и шестиместные меры сходства $K_0(P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(3)}) = 0,9933$; $K_0(P^{(4)}, P^{(5)}, P^{(6)}, P^{(7)}, P^{(8)}, P^{(9)}) = 0,9883$.

Относительные спектры в нашем случае совпадают с многокомпонентными экологическими инвариантами.

Из таблицы следует, что в течение трёх лет (1966–1968 гг.) в одну и ту же фазу развития сообщества четырёхкомпонентные экологические инварианты постоянны, на что указывают трёхместные и шестиместные меры сходства равные соответственно 0,99 и 0,98.

Ежегодное постоянство экологических инвариантов высокотравья в весеннюю и летне-осеннюю фазы развития можно объяснить тем, что при естественном развитии высокотравного сообщества отрастание травостоя весной происходит за счёт больших запасов пластических веществ в корневищах. Благодаря использованию прошлогодних запасов, растения, образующие крупнотравное сообщество, создают фитомассу и ассимиляционную поверхность, что обеспечивает их интенсивный рост и позволяет к осени накопить большое количество пластических веществ в корневищах. Указанный процесс повторяется из года в год. Можно также объяснить и явление нарушения инвариантности при скашивании травостоя. Очевидно, что при этом нарушается приведённая нами закономерность.

Заключение. Многокомпонентные экологические инварианты высокотравного сообщества в каждый год (1966–1968 гг.) постоянны в весеннюю и летнюю фазы развития. Установлено также нарушение инвариантности при ежегодном скашивании травостоя высокотравного сообщества. Следует отметить, что до настоящего времени при изучении высокотравья не было определено ни одного экологического инварианта (Морозов, 1994), т. е. наша статья пионерная.

Таблица

Четырёхкомпонентные экологические инварианты высокотравного сообщества Камчатки в весенние и летние фазы развития

Четырёхкомпонентные экологические инварианты					
$J_4^{(i)}$	$P^{(i)}$	$P_1^{(i)}$	$P_2^{(i)}$	$P_3^{(i)}$	$P_4^{(i)}$
$J_4^{(1)}$	$P^{(1)}$	0,8045	0,0946	0,0340	0,0669
$J_4^{(2)}$	$P^{(2)}$	0,8032	0,0896	0,0474	0,0598
$J_4^{(3)}$	$P^{(3)}$	0,8023	0,0913	0,0452	0,0612
$J_4^{(4)}$	$P^{(4)}$	0,5564	0,0887	0,2348	0,0851
$J_4^{(5)}$	$P^{(5)}$	0,5696	0,0782	0,2398	0,1129
$J_4^{(6)}$	$P^{(6)}$	0,5727	0,0791	0,2304	0,1178
$J_4^{(7)}$	$P^{(7)}$	0,5690	0,0972	0,1869	0,1468
$J_4^{(8)}$	$P^{(8)}$	0,5528	0,0942	0,2309	0,1221
$J_4^{(9)}$	$P^{(9)}$	0,5458	0,0919	0,2364	0,1259

Примеч.: $J_4^{(i)}$ – четырёхкомпонентный экологический инвариант за номером i (нижний индекс означает номер инварианта, а верхний – количество компонентов).

$P^{(i)}$ – относительный спектр за номером i .

$P^{(i)} = (P_1^{(i)}, P_2^{(i)}, P_3^{(i)}, P_4^{(i)})$; $P_1^{(i)} + P_2^{(i)} + P_3^{(i)} + P_4^{(i)} = 1$; $P_1^{(i)}, P_2^{(i)}, P_3^{(i)}, P_4^{(i)}$ – компоненты относительного спектра, доли фитомассы четырёх видов растений высокотравного сообщества Камчатки в весеннюю и летнюю фазы развития.

Благодарности. Работа выполнена по госбюджетной теме: «Естественные и антропогенные факторы в эволюции, динамике и устойчивости разноранговых геосистем и их компонентов в переходной зоне суша-океан» (№АААА-А16-116110810014-2).

ЛИТЕРАТУРА

Морозов В. Л. Феномен природы – крупнотравье. – М.: Наука, 1994. – 228 с.

Песенко Ю. А., Сёмкин Б. И. Измерение видового разнообразия сообществ и ширина экологических ниш видов: индуктивный плюралистический подход // Экосистемные исследования: историко-методологические аспекты. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – С. 133–159.

Сёмкин Б. И., Степанова К. Д., Щербова М. А. Влияние скашивания на видовую структуру крупнотравного сообщества на Камчатке // Бот. журн., 1973. – Т. 58, № 5. – С. 665–670.

Сёмкин Б. И., Горшков М. В. Экологическая интерпретация множественных мер сходства и различия при исследовании дифференцирующего разнообразия сообществ // Леса российского Дальнего Востока/ Мониторинг динамики лесов российского Дальнего Востока: Сб. науч. ст. по материалам V Всерос. конф. – Владивосток: ЛА-ИНС, 2012. – С. 198–201.

Сёмкин Б. И., Гусарова И. С., Горшков М. В. Об инвариантности средних отношений величин (на примере некоторых морфологических признаков слоевищ ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresch.) из сублиторали северного Приморья) // Известия ТИНРО, 2012. – Т. 171. – С. 313–320.

Сёмкин Б. И., Варченко Л. И. Экологические инварианты, их статистическая оценка и использование // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. науч. ст. по материалам XIII междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул, 2019. – С. 393–398.

Сёмкин Б. И., Варченко Л. И., Горшков М. В. О таксономических инвариантах водорослей-макрофитов и их нарушении под воздействием антропогенных факторов // Известия ТИНРО, 2019. – Т. 199. – . 249–255.

Semkin B. I. Elementary theory of similarities and its use in biology and geography // Pattern Recognition and Image Analysis, 2012. – Vol. 22, № 1. – P. 92–98.

Semkin B. I., Gorshkov M. V. Statistical Estimation of Multiple measures of Similarity // Pattern Recognition and Analysis, 2014. – Vol. 24, № 2. – P. 372–376.

Semkin B. I. The elementary theory of similarities and its use in biology and geography // Pattern Recognition and Image Analysis, 2015. – Vol. 25, № 1. – P. 1–9.