

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ
КОМИТЕТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ Г. ЙОШКАР-ОЛЫ
ФГБОУ ВПО «МАРИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «МАРИЙ ЧОДРА»
ФГУ ГПЗ «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»
МАРИЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕСТВА ФИЗИОЛОГОВ РАСТЕНИЙ



ПРИНЦИПЫ И СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

МАТЕРИАЛЫ
V Международной научной конференции
9–13 декабря 2013 года

Часть II

Йошкар-Ола
2013

ББК 28.0:20.1
УДК 57:502.172
П 75

Ответственные редакторы:

О. Л. Воскресенская, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой экологии, и.о. декана биолого-химического факультета МарГУ;
Л. А. Жукова, д-р биол. наук, проф. МарГУ, заслуженный деятель науки РФ

Редакционная коллегия:

А. Л. Азин, д-р мед. наук; **И. М. Божьеволина**, канд. пед. наук;
И. А. Гетманец, д-р биол. наук; **Н. В. Глотов**, д-р биол. наук;
Ю. А. Дорогова, канд. биол. наук; **В. П. Ившин**, д-р хим. наук;
В. А. Забиякин, д-р с.-х. наук; **Г. О. Османова**, д-р биол. наук;
Т. А. Полянская, канд. биол. наук; **Н. П. Савиных**, д-р биол. наук

Рецензенты: **Р. И. Винокурова**, д-р биол. наук, профессор Поволжского государственного технологического университета;
В. М. Пахомова, д-р биол. наук, профессор Казанского государственного аграрного университета.

Печатается при поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» (грант № 13-04-06122)

Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы V Международной научной конференции: в 2 ч. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2013. – Часть II. – 312 с.

ISBN 978-5-94808-795-5

В материалах конференции представлены доклады, посвященные проблемам биоразнообразия на организменном, популяционном и биоценотическом уровнях. Подробно рассмотрены разнообразие жизненных форм, таксономическое, экологическое и структурное биоразнообразие популяций и сообществ на особо охраняемых и нарушенных территориях, физиолого-биохимические адаптации организмов к различным экологическим факторам, медико-биологические аспекты использования биоразнообразия. Показаны математические аспекты анализа биоразнообразия; приведены методы мониторинга абиотических и биотических компонентов экосистем. Особое внимание уделено проблеме формирования экологического мировоззрения школьников и студентов.

Для экологов, биологов, специалистов в области охраны природы и рационального природопользования, а также преподавателей и студентов (бакалавров и магистров) биологических и экологических специальностей вузов, учителей и школьников.

ББК 28.0:20.1
УДК 57:502.172

ISBN 978-5-94808-795-5

© ФГБОУ ВПО «Марийский
государственный университет», 2013

RUSSIAN FOUNDATION FOR BASIC RESEARCH
MINISTRY OF EDUCATION OF THE MARI EL REPUBLIC
ECOLOGY AND NATURAL RESOURCES COMMITTEE
OF THE CITY OF YOSHKAR-OLA
MARI STATE UNIVERSITY
MARI CHODRA NATIONAL PARK
BOLSHAYA KOKSHAGA STATE NATURE RESERVE
MARI EL BRANCH OF THE SOCIETY OF PLANT PHYSIOLOGISTS



PRINCIPLES AND METHODS OF BIODIVERSITY CONSERVATION

PROCEEDINGS
of the Fifth International Research Conference
9-13 December 2013

Part II

Yoshkar-Ola
2013

BBK 28.0:20.1
UDK 57:502.172
P75

Editors-in-Chief:

O. L. Voskresenskaya, Dr. Biol. Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Acting Dean of the Faculty of Biology and Chemistry of Mari State University
L. A. Zhukova, Dr. Biol. Sciences, Professor of Mari State University, Honored Scientist of the Russian Federation.

Editorial Board:

A. L. Azin, Dr. Med. Sciences; **I. M. Bozhjevolina**, Cand. Ed. Sciences;
I. A. Getmanets, Dr. Biol. Sciences; **N. V. Glotov**, Dr. Biol. Sciences;
Y. A. Dorogova, Cand. Biol. Sciences; **V. P. Ivshin**, Dr. Chem. Sciences;
V. A. Zabiyaikin, Dr. Agricult. Sciences; **G. O. Osmanova**, Dr. Biol. Sciences;
T. A. Polyanskaya, Cand. Biol. Sciences; **N. P. Savinykh**, Dr. Biol. Sciences.

Reviewers: **R. I. Vinokourova**, Dr. Biol. Sciences, Professor of Volga State University of Technology;
V. M. Pakhomova, Dr. Biol. Sciences, Professor of Kazan State Agrarian University.

*Published with financial support
of the Russian Foundation for Basic Research (grant № 13-04-06122)*

P 75 Principles and methods of biodiversity conservation: Proceedings of the Fifth International Research Conference / Mari State University. – Yoshkar-Ola, 2013. – Part II. – 312 p.

ISBN 978-5-94808-795-5

The conference proceedings cover the issues of biodiversity at the organismal, population and biocenotic levels. Careful consideration is given to the variety of life forms, taxonomic, ecological and structural biodiversity of populations and communities in protected and disturbed areas, physiological and biochemical adaptation of organisms to different environmental factors, medical and biological aspects of biodiversity. Mathematical aspects of the analysis of biodiversity and methods of the monitoring of abiotic and biotic components of ecosystems are presented. Special attention is given to the shaping of school and university students' ecological worldviews.

Targeted at ecologists, biologists, other professionals in the field of environmental protection and rational nature management; university teachers and students (undergraduate and graduate) of biological and environmental majors, as well as at school teachers and students.

**BBK 28.0:20.1
UDK 57:502.172**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ АНАЛИЗЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОПУЛЯЦИЙ

Иванов С. М.¹, Софронов Г. Ю.², Глотов Н. В.¹

¹ Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола, iv.sergius@gmail.com

² Macquarie University, Sidney, georgy.sofronov@mq.edu.au

В популяционной биологии растений и лишайников важной является проблема сравнения онтогенетических спектров. Онтогенетическим (возрастным) спектром ценопопуляции (популяции) называется распределение особей по онтогенетическим состояниям (Ценопопуляции растений, 1988). Для сравнения спектров обычно используется критерий хи-квадрат (Sokal, Rohlf, 1995) или аналог точного критерия Фишера,

обобщенный для таблиц $R \times C$ (Mehta, Patel, 1986). Однако, как правило, исследователь имеет данные об онтогенетических спектрах субвыборок, из которых состоят выборки (учетные площадки в ценопопуляции, деревья в местообитании и т. д.), и критерии, применяемые обычно, не учитывают изменчивость спектров субвыборок в пределах выборки. В природных популяциях спектры субвыборок в пределах выборки часто различаются, в этом случае некорректно сравнивать суммарные спектры выборок. Таким образом, мы приходим к задаче сравнения онтогенетических спектров гетерогенных выборок. Данная задача аналогична модели I дисперсионного анализа, также можно рассмотреть задачу, аналогичную модели II дисперсионного анализа: разложение общей изменчивости онтогенетических спектров на компоненты – изменчивость между выборками и изменчивость в пределах выборок.

Одним из возможных подходов к решению задачи является применение метода главных компонент (Айвазян и др., 1988). Рассматриваются частоты особей каждого онтогенетического состояния для каждой субвыборки, при этом используется ϕ -преобразование Фишера (Sokal, Rohlf, 1995). Анализ с учетом веса субвыборок во всем материале, n_{ij}/n , где n_{ij} – объем j -й субвыборки i -й выборки, n – суммарный объем всех выборок. Для корреляционной матрицы ϕ_{ij} находим новые признаки – главные компоненты, их биологическое содержание интерпретируется как корреляция с исходными признаками. Так как сумма частот онтогенетических состояний в каждой субвыборке равна 1 (то есть частоты линейно зависимы), то доля изменчивости последней главной компоненты будет равна 0. Поскольку, по определению, главные компоненты независимы, имеет смысл проведение дисперсионного анализа отдельно по значениям всех главных компонент. При этом, чтобы не связывать себя с условиями модели дисперсионного анализа (Sokal, Rohlf, 1995), мы использовали рандомизационный тест (Шитиков, 2012). Для проверки значимости различий в рамках аналога модели I дисперсионного анализа применялся перестановочный тест: производилась перестановка субвыборок между выборками, в качестве величины характеризующей изменчивость между выборками, используется значение F -статистики. Для оценки доли влияния межвыборочных различий в рамках аналога модели II дисперсионного анализа проводился бутстреп (Эфрон, 1988), шаг бутстреп состоит в извлечении с повторением субвыборок в пределах выборки, для полученных в ходе рандомизации данных вычислялась доля влияния фактора – отношение межгрупповой дисперсии к общей дисперсии.

Данная процедура была апробирована на данных по 10 ценопопуляциям брусники *Vaccinium vitis – idaea* L. – из разных местообитаний на территории Республики Марий Эл, предоставленных Л. В. Прокопьевой, (выборки образуют ценопопуляции, субвыборки – площадки) и на данных по онтогенетической структуре популяции эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в одном местообитании в пойме реки Б. Кокшага, предоставленные Ю. Г. Суетиной (выборки образуют три форофита: липа, пихта, сосна; субвыборки – деревья). И для брусники, и для гипогимнии все выборки являются сильно гетерогенными ($p < 10^{-15}$), что делает невозможным сравнение суммарных распределений выборок.

Для брусники определялись 8 онтогенетических состояний: im, v, g₁, g₂, g₃, ss, s, sc. В таблице 1 представлены корреляции главных компонент с исходными переменными. С каждой из первых трех главных компонент сильно коррелируют разные онтогенетические состояния (с первой – v, g₂, со второй – sc; g₃, ss; с третьей – im, g₁), следовательно, различия в частотах особей этих онтогенетических состояний определяют главные компоненты и, как следствие, изменчивость онтогенетических спектров. Доля первых главных компонент (табл. 2) не превалирует, и доля последних главных компонент не является пренебрежимо малой. Различия между ценопопуляциями значимы для каждой главной компоненты, доля влияния фактора меньше у последних главных компонент. Последнее является следствием большей доли изменчивости первых главных компонент. Учитывая долю изменчивости каждой главной компоненты и долю влияния фактора по каждой главной компоненте, можно вычислить долю влияния фактора для всей изменчивости, она равна $0,265 \cdot 0,540 + \dots + 0,059 \cdot 0,179 = 0,35$.

Таблица 1 – Корреляция главных компонент с онтогенетическими состояниями для брусники

Главные компоненты	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
im	-0,383	0,44	-0,79	-0,08	0,045	-0,202	0,283
v	-0,842	-0,379	0,203	0,042	-0,011	-0,047	-0,638
g ₁	-0,127	0,483	0,538	0,53	0,041	0,032	0,182
g ₂	0,838	0,061	0,336	-0,536	-0,102	0,335	0,118
g ₃	0,115	-0,733	0,118	0,069	0,535	-0,246	0,072
ss	-0,042	-0,719	0,037	0,155	-0,59	-0,102	0,089
s	0,224	-0,442	-0,487	0,454	0,112	0,395	-0,028
sc	0,658	0,223	-0,248	0,342	-0,16	-0,432	-0,118

Таблица 2 – Результаты рандомизационных аналогов дисперсионного анализа для брусники

Главные компоненты	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Вклад главной компоненты в общую изменчивость	0,265	0,232	0,177	0,109	0,088	0,070	0,059
Кумулятивный вклад	0,265	0,497	0,674	0,784	0,872	0,941	1,000
Значимость межвыборочных различий	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	$3,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
Доля влияния межвыборочных различий	0,540	0,336	0,358	0,318	0,144	0,101	0,179
95 %-й доверительный интервал для межвыборочных различий	0,474– 0,605	0,272– 0,409	0,255– 0,462	0,238– 0,402	0,089– 0,213	0,052– 0,164	0,114– 0,261

Для гипогимнии определялись 6 онтогенетических состояний: v_1 , v_2 , g_1 , g_2 , g_3 , ss. В отличие от данных по бруснике, первая главная компонента сильно коррелирует (табл. 3) со всеми онтогенетическими состояниями. Различия между субстратами значимы только для первых двух главных компонент (табл. 4). Обращают на себя внимание большие доверительные интервалы для доли влияния фактора, которые значительно больше аналогичных на бруснике.

При рассмотрении исходных данных было выявлено, что дерево 22 липа сильно отличается от других деревьев этой же выборки, как по объему выборки, так и по онтогенетическому спектру. В этом можно убедиться, если рассмотреть положение деревьев в плоскости первых двух главных компонент (рис.).

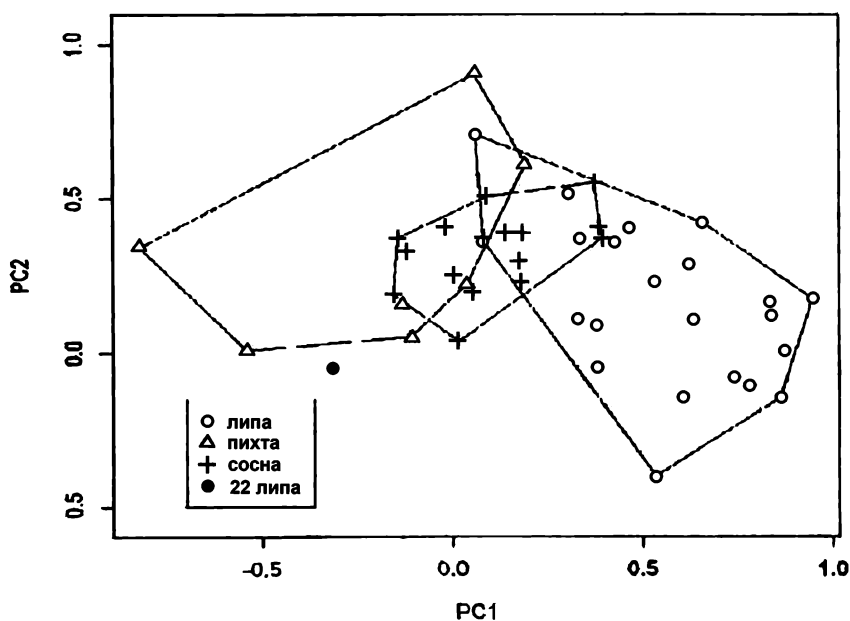
Таблица 3 – Корреляция главных компонент с онтогенетическими состояниями для гипогимнии

Главные компоненты	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
v_1	-0,903	0,199	-0,294	0,201	-0,737
v_2	-0,889	0,079	0,317	-0,215	-0,109
g_1v	0,73	-0,447	0,425	-0,098	0,211
g_2v	0,75	-0,63	-0,392	0,263	0,481
g_3v	0,686	0,442	-0,193	-0,327	0,197
ss	0,496	0,673	0,295	0,28	0,186

Таблица 4 – Результаты рандомизационных аналогов дисперсионного анализа для гипогимнии

Главные компоненты	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Вклад главной компоненты в общую изменчивость	0,571	0,213	0,109	0,058	0,048
Кумулятивный вклад	0,571	0,784	0,894	0,952	1,000
Значимость межвыборочных различий	0,0001	0,001	0,564	0,894	0,752
Доля влияния межвыборочных различий	0,493	0,253	0,044	0,032	0,032
95 %-й доверительный интервал для межвыборочных различий	0,079– 0,771	0,101– 0,442	0,001– 0,274	0,001– 0,173	0,001– 0,153

При проведении той же процедуры, но без дерева 22 (липа), результаты дисперсионного анализа изменяются незначительно (табл. 5). Заметно уменьшается доверительный интервал для доли влияния первой главной компоненты. Доля влияния первой главной компоненты при этом увеличивается, и, как следствие, увеличивается суммарная по всем главным компонентам доля различий между субстратами в общей изменчивости – с 0,344 (для всех деревьев) до 0,451 (без дерева 22 (липа)). Увеличение доли влияния фактора (доли влияния изменчивости между выборками) происходит из-за уменьшения изменчивости внутри выборки липа с исключением дерева 22 (липа), что подтверждает эффективность оценки изменчивости с помощью предложенной процедуры.



Деревья в плоскости первых двух главных компонент

Таблица 5 – Результаты рандомизационных аналогов дисперсионного анализа для гипогимнии, данные без дерева 22 (липа)

Главные компоненты	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Вклад главной компоненты в общую изменчивость	0,578	0,206	0,117	0,059	0,040
Кумулятивный вклад	0,578	0,784	0,902	0,960	1,000
Значимость межвыборочных различий	0,0001	0,004	0,576	0,904	0,050
Доля влияния межвыборочных различий	0,675	0,245	0,044	0,044	0,056
95 %-й доверительный интервал для межвыборочных различий	0,459– 0,802	0,077– 0,458	0,001– 0,295	0,001– 0,205	0,009– 0,200

Выводы. Для задачи анализа изменчивости онтогенетических спектров предложен подход, основанный на методе главных компонент. Подход апробирован на реальных данных по популяциям растений (*Vaccinium vitis – idaea* L.) и лишайников (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.). На особенностях данных по гипогимнии показана эффективность предложенной процедуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (12-04-01251-а).

Литература

- Айвазян С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. *Ценопопуляции растений* (очерки популяционной биологии) / Л. Б. Заугольнова, Л. А. Жукова, А. С. Комаров, О. В. Смирнова. – М.: Наука, 1988. – 184 с. *Шитиков В. К.* Использование рандомизации и бутстрепа при обработке результатов экологических наблюдений / В. К. Шитиков // Принципы экологии. – 2012. – Т. 1. – № 1. – С. 4–24. *Эфрон Б.* Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа / Б. Эфрон. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 263 с. *Mehta C. R.* Algorithm 643. FEHACT: A Fortran subroutine for Fisher's exact test on unordered $r \times c$ contingency tables / C. R. Mehta, N. R. Patel // ACM Transactions on Mathematical Software. – 1986. – № 12. – P. 154–161. *Sokal R. R.* Biometry / R. R. Sokal, F. J. Rohlf. – New York: H. -W. Freeman and company, 1995 – 891 p.