

УДК 591.524.11

Н. Н. ШАЛОВЕНКОВ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗООБЕНТОСА

Предлагается алгоритм применения отдельных методов многомерной статистики для анализа зообентосных исследований (на примере работ, выполненных в отделе экосистем шельфа ИнБЮМ Украины). Бентосные сообщества являются наиболее удобными «тест-объектами» в силу их относительного постоянства на определенных участках дна в течение нескольких лет. В связи с этим использование предлагаемого подхода при анализе данных, возможно, найдет применение в решении прикладных экологических задач.

Существует большое разнообразие математических моделей и подходов в прогнозировании структурных изменений и функционирования морских экосистем. Для этих целей довольно часто используют методы многомерной статистики [2, 3, 5, 15 и др.]. Данный подход позволяет исследовать сложность взаимосвязей и иерархическую структуру организации биологических систем (организм, популяция, вид, сообщество). В отделе экосистем шельфа ИнБЮМ им. А. О. Ковалевского АН Украины накоплен опыт применения методов многомерной статистики при изучении зообентоса. Не будем рассматривать математический аппарат этих методов, так как он достаточно полно изложен в литературе [1, 7 и др.], а остановимся на возможностях его применения к задачам зообентосных исследований.

Обычно в зависимости от поставленной цели применяют единичную модель или серию моделей. Многомерные модели условно можно разделить на описательно-расчетные (анализ главных компонент, кластерный анализ) и прогностические (дискриминантный и канонический анализы, пошаговая множественная регрессия). В связи с этим в анализе многомерных данных можно соответственно выделить два этапа: описательный и прогностный. Описательный этап желателен при исследовании экосистем в силу их структурной неоднородности и сложности. Расчеты, выполненные без проверки исходных данных на однородность, могут исказить результаты прогнозов [19]. Такую проверку обычно проводят с помощью оценки главных компонент кластерного или факторного анализов. С помощью описательных моделей возможно выявление иерархической связи между объектами исследования, а также связанности параметров, характеризующих экосистему.

Описание пространственной неоднородности и иерархии зообентоса. При изучении макро- и мейобентоса Ялтинского залива большое количество исследуемых переменных методом главных компонент было сгруппировано по факторам [16]. Выделение факторов способствовало установлению связи видового разнообразия и пространственного распределения донных животных с механическим составом грунта. По результатам кластерного и канонического анализов морфологических параметров (длина, ширина и высота) раковин популяции митилястра все особи были разделены на три большие группы [6, 13]. Этим трем группам соответствовали различные участки биотопа. Одну группу составили моллюски, обитавшие на участках со слабым воздействием при-

© Н. Н. Шаловенков, 1992

бойной волны, другую — с сильным. В третью группу были включены особи митилиястра, зарегистрированные в друзьях мидии. Таким образом, предварительная проверка исходных данных на неоднородность позволила установить влияние морского приобоя на морфологию и рост моллюсков, а также выявить отличия в связях между морфологическими параметрами для каждой группы.

Полезен кластерный анализ не только для выделения неоднородностей по набору переменных, но и для выявления возможной иерархической связи между видами и группировками. С помощью такого подхода выделены сообщества донных животных на основе коррелированности видов [12, 17, 18]. Для этих сообществ установлены иерархические уровни организации. Например, в б. Ласпи (ЮБК) самому высокому иерархическому уровню соответствуют зональные (или поясные) сообщества (*Mytilus galloprovincialis* и *Modiolus phaseolinus*). К более низкому иерархическому рангу принадлежат «мозаичные» сообщества (*Venus gallina*, *Pitar rudis*-*Gouldia minima*). Совокупность этих «мозаичных» сообществ составляет иерархически более высокое поясное сообщество, которое равноценно по структурной сложности отмеченным сообществам *Mytilus galloprovincialis* и *Modiolus phaseolinus*.

Проблематичным остается вопрос существования иерархического характера связи между отдельными видами макро- и мейобентоса. Кластерный анализ фауны свободноживущих нематод и макрозообентоса не выявил влияния размеров гидробионтов на иерархическую структуру сообществ [20]. Зарегистрированы виды нематод, которые образовывали самостоятельные группировки, а их пространственное распределение не зависело от развития сообществ макрозообентоса.

Подходы к прогнозированию структурных и функциональных изменений донных сообществ. На основе накопленной информации (банк данных) и с учетом выделенных неоднородностей можно проводить этап прогнозирования изменений в структуре и функционировании биологических систем. Возможна оценка вклада независимых переменных в дисперсию зависимой (выходной параметр). Для этого широко используются множественный дисперсионный анализ и множественная линейная регрессия [4, 5, 14, 15 и др.]. Менее распространенным методом является дискриминантный анализ, который эффективен и при решении задач прогнозирования [2, 3, 5].

С помощью значений дискриминантной функции определяется с допустимой вероятностью отношение исследуемых объектов по ряду признаков (переменных) к той или иной однородной группе. В качестве «объектов» могут быть использованы организмы, популяции, виды, сообщества. Весьма затруднительным в биоценологических исследованиях является определение условных пространственных и временных границ между донными сообществами. Для решения этой задачи применялся дискриминантный анализ [12]. По оценке вклада видов донных животных в значения дискриминантной функции определяются количество значимых видов, необходимых для анализа, и принадлежность станций к выделенным сообществам. В отмеченных исследованиях по Ласпи из 49 зарегистрированных видов донных животных только пять вносило основной вклад в различия между сообществами. Для проведения прогнозов достаточно уже использовать регулярно получаемую информацию по значимым видам. Это позволяет на основе рассчитанных значений дискриминантной функции составлять прогноз возможных структурных изменений в любой точке сообщества, имеющей координатную привязку. Результаты анализа представляются в виде исходных и прогнозируемых компьютерных карт, составленных на основе типовых программ для компьютерного картирования. Выбранная нами последовательность анализа исходных результатов методами многомерной статистики не является единственно возможным вариантом. Данный подход применим и для решения целого ряда прикладных экологических задач. Например, для поиска «оптимальных» нагрузок при сбрасывании

загрязняющих веществ в прибрежные системы. На сегодняшний день допустимые объемы сброса хозяйственных вод рассчитываются без учета их влияния на живые организмы или по допустимым концентрациям, определенным (в лучшем случае) для отдельно взятых организмов [9—11]. Последствия такого подхода достаточно очевидны по состоянию прибрежных морских акваторий в районе крупных городов и промышленных зон.

Применение методов многомерной статистики позволяет оценивать влияние сброса в море загрязняющих веществ не только на отдельные особи или виды, но и на целые сообщества. Бентосные сообщества являются наиболее удобными «тест-объектами» в силу их относительного постоянства на определенных участках дна в течение нескольких лет. При проведении исследований сетка станций должна охватить площади, не подверженные загрязнению, и площади непосредственно у выхода сточных вод. В многомерный статистический анализ включаются станции в пределах одного сообщества, чтобы исключить возможное влияние на видовой состав естественной смены биоценозов. В случае варьирования концентраций загрязняющих веществ в расчеты принимаются их максимальные значения. На описательном этапе, применяя кластерный анализ, проводят группировку станций по зарегистрированным видам донных животных. Вследствие того, что сброс вредных веществ вызывает обеднение зообентоса [8], выделенные группы станций должны различаться видовым составом и биомассой донных животных.

Следующая задача — по видовому составу и биомассе бентоса выбрать такую группу станций, где концентрация сбрасываемых в море вредных веществ могла быть принята как предельно допустимая. Для этого на этапе прогнозирования проводят ранжирование выделенных групп станций по уровню загрязнений. Рассматривая этот ряд с позиции устойчивости сообществ, выбирают ту группу станций, где видовой состав и биомасса донных животных соответствуют донному населению пограничной зоны сообщества из «чистого» района. Концентрация загрязнений, зарегистрированная для этой группы станций, принимается предельно допустимой. Выбор группы осуществляется по значениям дискриминантной функции с допустимой вероятностью. По значениям дискриминантной функции при регулярных повторных исследованиях также возможен прогноз изменений границ поражения или восстановления донного сообщества. Предельно допустимая нагрузка загрязняющими веществами, определенная для какого-либо прибрежного района, вероятнее всего, не может переноситься механически на другие участки моря, так как между разными районами существуют экологические различия. Поэтому только после предварительного экологического районирования прибрежной части моря возможно корректное определение ПДН для прибрежных экосистем в пределах каждого района.

Закключение. Применение описательно-расчетных статистических моделей перед прогнозированием позволяет выделить неоднородности многомерных данных, иерархичность структур и избежать искажение результатов прогноза. Определение предельно допустимых нагрузок при загрязнении необходимо проводить для каждого экологического района моря.

1. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Основы моделирования и обработка данных. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 471 с.
2. Андреев В. Л. Классификационные построения в экологии и систематике. — М.: Наука, 1980. — 142 с.
3. Андреев В. Л. Анализ эколого-географических данных с использованием теории нечетких множеств. — Л.: Наука, 1987. — 159 с.
4. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 488 с.
5. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. — М.: Мир, 1981. — 252 с.

6. Заики В. Е., Валовая Н. А., Повчун А. С., Ревков Н. К. Митилиды Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1989. — 205 с.
7. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. — М.: Наука, 1976. — 736 с.
8. Киселева М. И. Характеристика развития бентоса на полигоне в районе Ялты // Опыт теоретического и экспериментального исследования проблемы глубоководного сброса сточных вод на примере района Ялты. — Киев: Наук. думка, 1973. — С. 234—243.
9. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 152 с.
10. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 275 с.
11. Методы биотестирования вод. — Черноголовка: Ин-т хим. физики, 1978. — 176 с.
12. Петухов Ю. М., Шаловенков Н. Н., Ревков Н. К., Петров А. Н. Пространственное распределение макрозообентоса в черноморской бухте Ласпи — Севастополь, 1990. — 17 с. Деп. в ВИНТИ 15.11.90, № 5764-В 90.
13. Ревков Н. К. Рост, размножение и структура популяций *Mitilaster lineatus* (Gmel.) и *Modiolus phaseolinus* (Phil.) в Черном море: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Севастополь, 1989. — 25 с.
14. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. — М.: Мир, 1970. — 463 с.
15. Хайлог К. М., Парчевский В. П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. — Киев: Наук. думка, 1983. — 253 с.
16. Холодов В. И., Киселева М. И. Статистический анализ влияния различных грунтов на плотность поселения организмов макро- и мейобентоса // Биология моря. — 1985. — № 2. — С. 17—25.
17. Шаловенков Н. Н. Годовая динамика бентоса бухты Казачья // Материалы конф. «Рациональное использование ресурсов моря — важный вклад в реализацию продовольственной программы» / Севастополь, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского АН Украины. — Севастополь, 1985. — С. 156—169. — Деп. в ВИНТИ № 256-85.
18. Шаловенков Н. Н. Седиментация детрита и донные сообщества черноморской бухты: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Севастополь, 1985. — 24 с.
19. Шаловенков Н. Н., Владимиров В. В., Николаев В. М. Вертикальная неоднородность фотического слоя в тропической Атлантике // Пикофракция в составе планктона тропической зоны Атлантического океана: Материалы 20-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». — Севастополь, 1987. — С. 145—156. — Деп. в ВИНТИ № 3798-В 87.
20. Sergeeva N. G., Shalovenkov N. N. Free-living nematods in bentic biocenoses // The 7th Intern. Sympos. Aquatic Nematodes (8—10 Aug. 1990, Jerscke). — Netherlands, 1990. — P. 91—96.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского
АН Украины, Севастополь

Получено
12.07.91

N. N. SHALOVENKOV

POTENTIALITIES OF APPLICATION OF THE MULTIDIMENSIONAL STATISTICS METHODS IN THE STUDY OF ZOOBENTHOS

Summary

An algorithm is suggested for application of certain methods of multidimensional statistics to analyze zoobenthos studies (demonstrated by works made at the Department of Shelf Ecosystems, Institute of Biology of Southern Seas, Academy of Sciences, Urk. SSR). At the first stage the use of multidimensional descriptive methods permits revealing inhomogeneities and a hierarchical awkwardness in the structure of benthos communities. A correct operation of the prediction models is possible only following this stage. Conditional space and time boundaries between the bottom communities were predicted using a discriminant analysis.

Benthos communities are the most appropriate „test-objects“ as they are relatively constant at definite bottom areas for several years. This makes the approach suggested to be useful for solving certain applied ecological problems, e. g., for searching „optimal“ loads in case of pollutants discharge to the pre-coastal systems. Herewith, the maximum permissible load (MPL) of pollutants, being determined for any pre-coastal region, cannot be taken for sea areas because of their ecological differences. That is why correct determination of MPL for the pre-coastal ecosystems within each region is possible only after preliminary ecological regionalization.