

УДК: 59.08:681

С.Д. Степаньянц, М.Б. Дианов

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ СИФОНОФОРЫ *DIMOPHYES*
ARCTICA (CHUN, 1897)**

Dimophyes arctica (Chun, 1897) – один из наиболее массовых видов сифонофор, описанный из Арктического бассейна и в силу этого долгое время рассматриваемый как типичный представитель холодно-водной фауны. Позже этот вид был обнаружен практически во всех районах Мирового океана от Арктики до Антарктики, включая тропическую зону, и потому вполне справедливо отнесен специалистами к числу панокеанических видов (Степаньянц, Лобанов, 1989; Pages, Gili, 1992).

Фрагменты колоний *D. arctica* встречены от поверхностных слоев воды до глубин в несколько тысяч метров, при температурах от -1° С до 22° С и при соленостях 33.5-35 ‰ (Степаньянц, Лобанов, 1989).

Специалистам хорошо известна морфологическая особенность колоний *D. arctica*. Эта дифидная сифонофора (колония имеет два плавательных колокола-нектофора: передний и задний) характеризуется двумя формами переднего нектофора – "широкой" и "узкой" (рис. 1: 1, 2), чего нет больше ни у одного другого дифидного вида. До сих пор не дано объяснения этой особенности *D. arctica*. При традиционной качественной обработке материала всегда складывалось представление, что среди фрагментов этого вида, попадающихся в пробах из разных регионов и с различных горизонтов, "широкие" и "узкие" нектофоры встречаются одновременно и примерно в одинаковом ко-

личестве. Кроме двух типов переднего нектофора, заднего нектофора, в пробах встречаются также кроющие пластинки и гонофоры (♀ и ♂), либо целые кормидии (рис. 1:3-6).

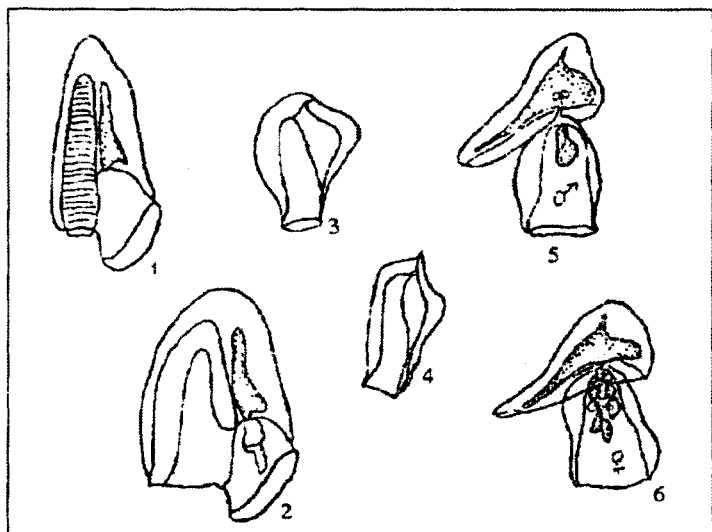


Рис. 1. Фрагменты колонии *Dimophyes arctica*: 1- верхний "узкий" нектофор; 2- верхний "широкий" нектофор; 3, 4- нижний нектофор; 5- кормидий ♂; 6- кормидий ♀.
Fragments of colonies of *Dimophyes arctica*: 1- anterior nectophore "narrow"; 2- anterior nectophore "wide"; 3, 4- posterior nectophore; 5- cormidium ♂; 6- cormidium ♀.

В коллекции Зоологического института РАН (ЗИН) имеется более 500 проб по *Dimophyes arctica*. На основании обработки этих проб была сделана база данных, включающая только те обнаружения, постанционные данные которых позволяли получить исчерпывающие сведения по факторам среды в каждой точке, количеству обнаруженных фрагментов, а также координатам, глубинам, орудиям лова, времени и сезону сбора и т.д. (Степаньянц, Лобанов, 1989). Поскольку коллекция по *D. arctica* ЗИН состоит преимущественно из материала, собранного в отечественных евразийских, дальневосточных морях и в Северной Пацифике (отчасти в Карибском регионе), были привлечены и литературные данные.

На основе этой базы данных с помощью оригинальной программы WORLDMAP (авторы А.Л.Лобанов и М.Б.Дианов) была сделана компьютерная карта находок *D. arctica* (рис.2). Данная программа позволяет интерактивно показать для каждого места обнаружения вида

географические координаты и сведения по количеству фрагментов колоний *D. arctica*, обнаруженных в данной точке. Следует иметь в виду, что по мере пополнения базы данных новыми обнаружениями на карте будут появляться новые точки и, соответственно, новые сведения о находках фрагментов или колоний в каждой новой точке.

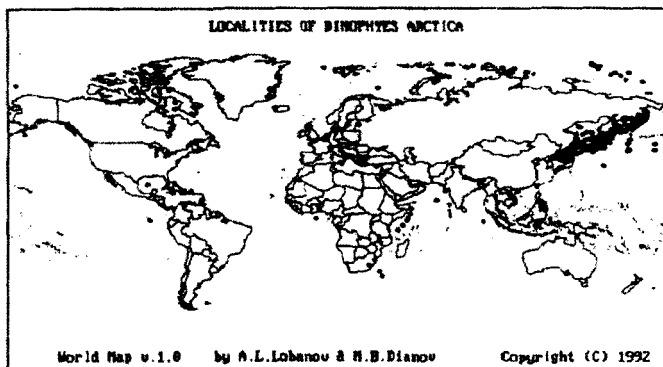


Рис. 2. Карта распространения *Dimophyes arctica*.
Distribution map of *Dimophyes arctica*.

THE ASSOCIATION EVALUATION OF THE GENERATIVE FRAGMENTS AND NECTOPHORES ("WIDE" AND "NARROW") WITH THE ENVIRONMENT FACTORS AND TO ON ANOTHER.						
THE FACTORS	GENERATIVE FRAGMENTS		"NARROW" NECTOPHORES		"WIDE" NECTOPHORES	
ANALYSIS OF VARIANCE	INFLUENCE FORCE %		INFLUENCE FORCE %		INFLUENCE FORCE %	
	every factor	combination	every factor	combination	every factor	combination
NORTH-DEPTH	26.9-4.3	76.4	4.4-10.3	19.2	25.8-15.2	64.2
NORTH- t°C	26.9-3.1	62.1	4.4- 0.9	21.2	25.8-10.3	36.1
NORTH- S %	26.9-1.2	53.6	4.4-11.0	21.9	25.8- 9.7	35.6

ANALYSIS OF THE CONTINGENCY TABLES	INFLUENCE CRITERION %	INFLUENCE CRITERION %	INFLUENCE CRITERION %
GENERATIVE FRAGMENTS	—	0.267	0.306
NORTH	0.396	0.267	0.440
DEPTH	0.311	0.305	0.424

Рис. 3. Оценка зависимости генеративных фрагментов и нектофоров ("широких" и "узких") *D. arctica* от факторов среды и друг от друга.

Ранее анализу подверглись только данные по Японскому морю (108 обнаружений), которые с помощью ряда статистических методов (15 оригинальных программ), таких как парный и множественный регрессионный и корреляционный анализы, факторный и дискриминантный анализы, дисперсионный анализ и анализ таблиц сопряженности, были обработаны для уточнения особенностей обитания и размножения этого вида, а также для попытки выявления причин существования двух вышеназванных форм передних нектофоров (Степаньянц, Лобанов, 1989). Анализу подвергались стандартизованные численности различных фрагментов колоний и их суммы в 1 м³. Широко использовались преобразованные значения факторов и численностей в шкалы баллов.

Анализировалось влияние таких факторов среды, как температура и соленость, а также глубина обнаружения, месяц и время суток. Рассматривалось влияние этих факторов на численность всех встреченных фрагментов колоний, отдельно на численность всех нектофоров, "широких" нектофоров и "узких" нектофоров, а также на численность половых фрагментов.

Дисперсионный анализ влияния полного набора названных факторов и пары факторов на все и отдельные фрагменты показал, что наибольшее влияние оказывает сезон, а в сочетании с ним – глубина, температура и соленость.

Время суток не оказывает влияния на численность *D. arctica*, что, по-видимому, свидетельствует об отсутствии суточной миграции у этого вида.

Как видно из рис. 3, зависимость от факторов среды проявляется у половых фрагментов четче, чем у плавательных колоколов. Это означает, что размножение колоний *D. arctica* происходит в более лимитированных условиях среды. Если говорить о зависимости численности нектофоров от факторов среды, то сезон и температура влияют заметно больше на "широкие" нектофоры, чем на "узкие". Последние характеризуются большей эврибионтностью.

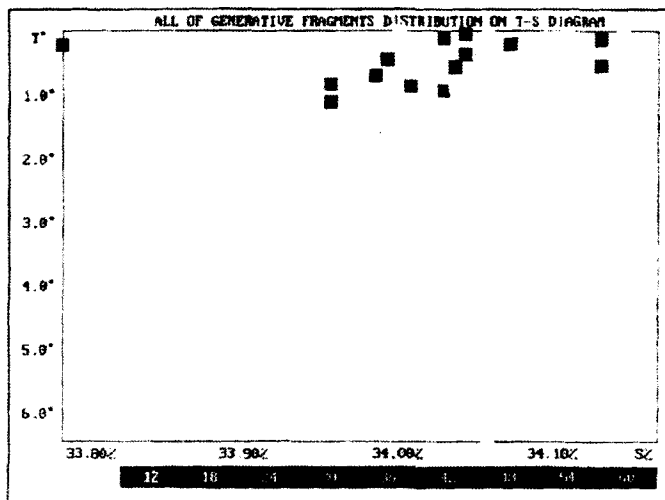
Как показал анализ таблиц сопряженности (рис. 3), критерии зависимости численности половых фрагментов от факторов среды более сходны с таковыми "широких" нектофоров. Это позволяет связать появление "широких" нектофоров с периодом полового размножения колоний.

Иными словами, для вида типичны узкие передние нектофоры с хорошо развитой мускулатурой нектосака, плотной мезоглеей и заостренной вершиной колокола (рис. 1.1). В период полового размно-

жения, однако, у колоний, продуцирующих половые особи, меняется биохимия тканей нектофоров: становятся дряблыми мезоглея и мускулатура нектосака, вершина колокола округляется, сам колокол в результате как бы "расширяется" (рис.1,2).

Как ясно из сказанного выше, примененные ранее методы и вычисления весьма трудоемки, так как требуют стандартизации численных показателей, а интерпретации полученных значений достаточно сложны. Современные методы компьютерной визуализации позволяют проверить сделанные ранее выводы простейшим анализом исходных данных.

К сожалению, адекватно воспроизвести цветовые решения программы визуализации типографским способом невозможно. При выводе на экран компьютера 16 цветов производился выбор из 262144 возможных оттенков, большинство которых может распознать глаз человека. При воспроизведении иллюстраций методом офсетной печати читателем воспринимаются только 2-3 оттенка серого.



грамма на рис. 5 показывает, что опасения оправданы – на ней показано распределение количества половых фрагментов по широте и долготе (на географической карте). Необходимо заметить, что такой вывод не потребовал каких-либо вычислений.

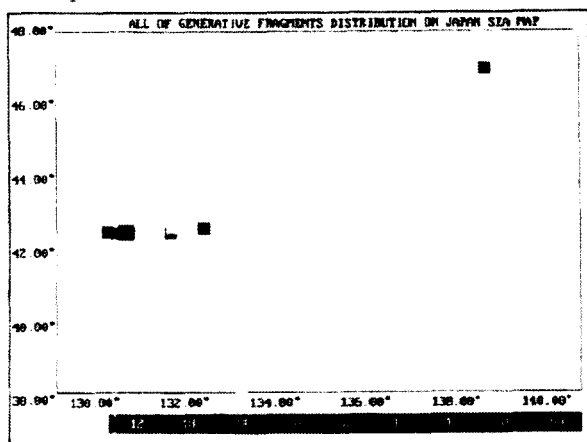


Рис. 5. Распределение количества генеративных фрагментов *D. arctica* в Японском море.
Distribution of *D. arctica* generative fragments on Japan Sea map.

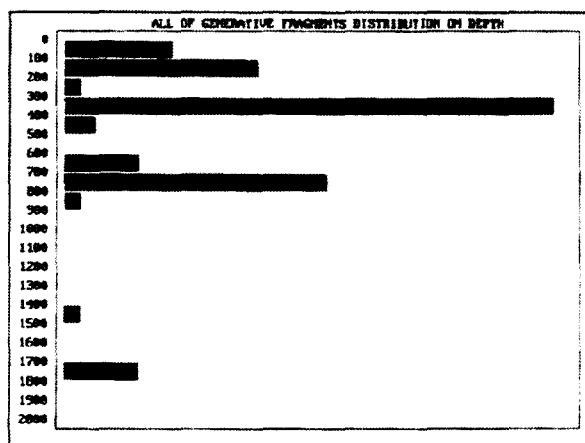


Рис. 6. Распределение количества генеративных фрагментов *D. arctica* по глубине.
Distribution of *D. arctica* generative fragments on depth.

Генерируемые программой гистограммы тривиальны, однако позволяют увидеть закономерность без расчетов. Наглядный пример – рис. 6, показывающий распределение суммы половых фрагментов по глубине с явно выраженным максимумом.

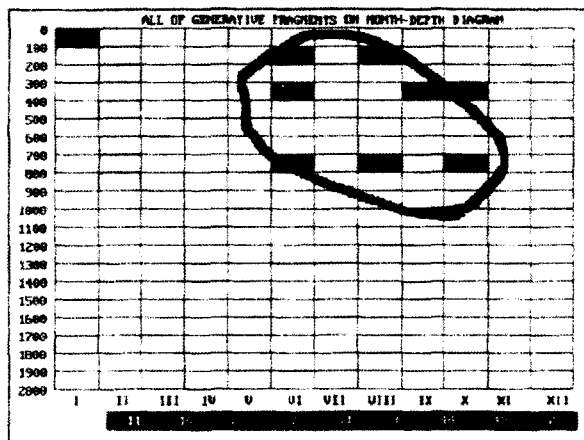


Рис. 7. Распределение генеративных фрагментов *D. arctica* в поле диаграммы месяц-глубина.
Distribution of *D. arctica* generative fragments on diagram month-depth

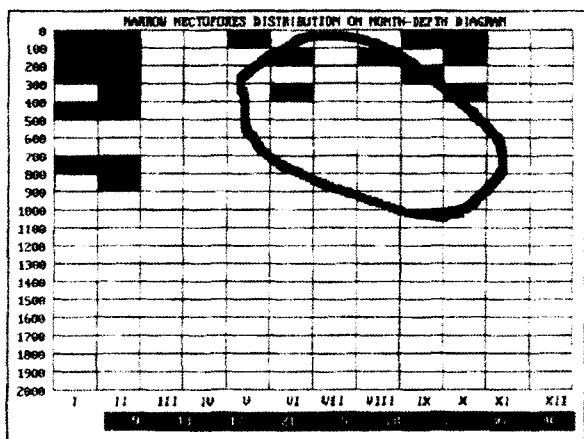


Рис. 8. Распределение количества "узких" нектофоров *D. arctica* в поле диаграммы месяц-глубина.
Distribution of *D. arctica* "narrow" nectophores on diagram month-depth.

Последняя серия (рис. 7-9) показывает корреляцию распределения суммы половых фрагментов, узких и широких нектофоров в поле диаграммы "глубина-месяц".

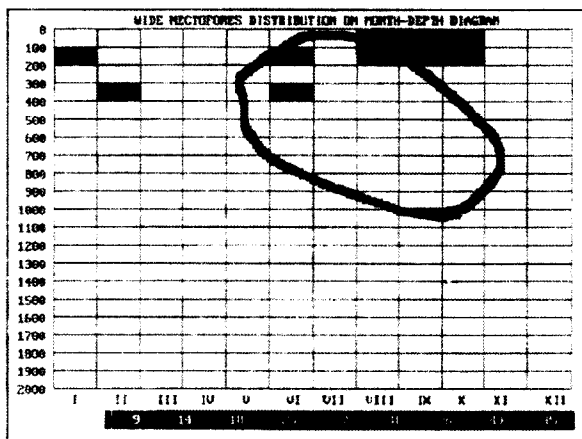


Рис. 9. Распределение количества "широких" нектофоров *D. arctica* в поле диаграммы месяц-глубина.
Distribution of *D. arctica* "wide" nectophores on diagram month-depth.

Отметив на диаграмме максимум суммы половых фрагментов, перенесем эту область на диаграмму с суммой узких нектофоров. Даже неискушенному глазу видно, что корреляции нет. Проведем аналогичную процедуру для диаграммы с широкими нектофорами. Отчетливо видно, что корреляция есть, причем в большей степени для месяца, чем для глубины.

Несмотря на явно недостаточное количество наблюдений по Японскому морю и малую плотность данных во времени и пространстве программа визуализации позволила дать качественное представление о закономерностях распределения объектов базы данных и связях отдельных частей между собой.

Следует проверить полученные результаты на материале из других акваторий Мирового океана. Однако уже сейчас можно сказать, что методы компьютерной визуализации позволяют зоологу производить первичный анализ базы данных и поиск общих закономерностей, не привлекая математический аппарат.

S.D. Stepanjants, M.B. Dianov
Zoological Institute, RAS, St.-Petersburg, Russia

**THE COMPUTER APPROACH TO THE STUDY OF THE
MORPHOLOGICAL AND BIOLOGICAL PECULIARITIES OF
SIPHONOPHORA *DIMOPHYES ARCTICA* (CHUN, 1897)**

Dimophyes arctica (Chun, 1897) is one of the most common siphonophores, which was described from the Arctic Basin and therefore considered for a long time as a typical coldwater species. Later it was found in all regions of the world's oceans from the Arctic to Antarctic, including the tropical zone, and presently it can be with due validity referred to panoeceanic species (Stepanjants, Lobanov, 1989; Pages, Gili, 1992).

The colony fragments of *D. arctica* were found from the surface of the sea to depths of several thousands meters, at a temperature from -1° C, to 22° C and salinity 33.5-35‰. (Stepanjants, Lobanov, 1989).

The morphological peculiarity of *D. arctica* colonies is well known. This diphyid siphonophora (the colony has 2 nectophores: the anterior and posterior ones) is characterized by 2 forms of the anterior nectophores – "wide" and "narrow" ones (fig.1:1,2). This peculiarity is absent in other diphyid species. There is so far no explanation of this feature of *D. arctica*. In traditional qualitative sorting of material from different regions and depths it assumed that "wide" and "narrow" nectophores are always present simultaneously in about equal number. Besides two types of the anterior nectophores, there are the posterior nectophores, bracts, gonophores (♂ and ♀), or the whole cormidias (fig.1:3-6) present in samples.

There are more than 500 samples with *D. arctica* in collection of Zoological Institute (ZIN). The analysis of this collection resulted in preparation of the data base. Only samples adequate for receiving station-by-station comprehensive information with respect to environmental elements at each observation point, amount of discovered fragments as well as coordinates, depths, catching tools, sampling time and season, have been represented in the data base (Stepanjants, Lobanov, 1989). Since the ZIN collection of *D. arctica* includes basically material from the Russian Eurasian Arctic seas, Far-east seas and the North Pacific region (partly from the Caribbean Sea), the literature data were also used in case they included the entire of the above-listed information.

From this data base the computer map of *D. arctica* finding was prepared using of the original WORLDMAP software (authors A. Lobanov and M. Dianov) (fig.2). This software permits to receive interactive indications of geographic coordinates and data on number of colony fragments of *D. arctica* for each particular observation point. It should be noted, that as new information becomes available in the data base, new points and accordingly new information about fragments and colonies in every new point will appear on the map.

Previously data on the Sea of Japan were analyzed (108 samples). Using some statistical methods (15 original programs), such as the paired and multiple regression and correlation analysis, factor analysis and discriminant analysis, analysis of variance and contingency tables, these data were accepted for the improvement of the peculiarities of inhabitation and reproduction of this species and for understanding reasons of occurrence of the two morphological forms of anterior nectophores (Stepanjants and Lobanov, 1989). The standardized numerical values of different fragments and their sums in 1 cubic m. were analyzed. The transformation of the continuously changing factor values and the analyzed numbers into the number scales has been developed.

The effect of such environmental factors as temperature and salinity, depth of finding, month, and time of the day was analyzed. The influence of these parameters on numerical content of all the colony fragments, all the nectophores, "wide" and "narrow" nectophores separately, as well as the number of generative fragments were examined.

The variance analysis of the effect of the whole set of the above factors and pairs of factors on all the fragments and separate fragments shows that it is the season, as well as the combination of season, depth, temperature and salinity, that are the most influential parameters.

The time of day does not influence the number of *D. arctica* fragments, which evidently testifies the absence of daily migration of this species.

As is evident from Fig.3, the environmental dependence is more distinct for generative fragments than for nectophores. It means that reproduction of *D. arctica* colonies is occurring in a more limiting environmental conditions. Among nectophores, "wide" nectophores are more clearly dependent on the season and temperature than "narrow" ones. The latter are more eurybiotic.

As is shown by the analysis of the contingency tables, the numerical criteria of dependency of the reproductive fragments on environmental factors are similar to those of the "wide" nectophores. It permits to associate the occurrence of "wide" nectophores with the beginning of the

reproduction process of the *D. arctica* colonies.

In other words, the "narrow" nectophores with well developed muscles, dense mesogloea and pointed apical part of umbrella are characteristic this species (Fig.1,1). During the reproductive period, however, colonies producing the reproductive zooids, the biochemical composition of tissues is changed. As a result, nectophores, which are produced in this period becomes the loosed muscles of the nectosac and mesogloea, the umbrella top is rounded, as a result nectophores as if are "expanded" (Fig.1,2).

Obviously the previously employed methods and calculations are extremely complicated, requiring the standardization of the numerical indexes, and the interpretation of the results is sufficiently complicate. The updated methods of the computer visualization permitted to test the previous conclusions by the simplest analysis of the initial data.

Unfortunately, it is impossible to adequately reproduce the colour solution of the visualization program by printing. We selected 16 colours from 262144 possible hues recognized by the human eye to display on the screen. The reader can usually assimilate only 2-3 hues of grey at the illustrations reproduced by offset method. On Fig.4 the distribution of the number of reproductive fragments on T-S diagram field is shown. As expected, the greatest amount of fragments was observed from a definitely specified water mass. It may be related with the material which was collected from the same water mass. The diagram in Fig.5 evidences, that such apprehensions proved justified: here the distribution of the reproductive fragments over the latitude and longitude (on the geographical map) is shown. It should be noted that this conclusion did not require any kind of calculations.

The program-generated histograms are ordinary, but allow to see the regularity pattern without any calculations. As a vivid example Fig.6 shows the distribution of the sum of the reproductive fragments on depth with clearly defined maximum.

The last series (Figs 7-9) shows the correlation of the distribution of the sum of the reproductive fragments, "narrow" and "wide" nectophores on the depth-month diagram field.

Having noticed the sum maximum of reproductive fragments on the diagram and transposed this area into the diagram with the sum of "narrow" nectophores, one can be easily convinced that no correlation exists. The same operation for the "wide" nectofores shows a clearly defined correlation, a better one with respect to month than depth.

Despite the lack of observations concerning the Sea of Japan and its

inadequate spatial and temporal density, the visualization program made it possible to give a qualitative view on distribution patterns of the target of the data base and of the interrelation between its separate parts.

The obtained results need to be compared with those obtained from other regions of the world's oceans. However, it is already possible to say that the computer visualization methods permit zoologists to make the initial analysis of the data base and search the general regularities without attracting the mathematical aids .