

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



24
—
1986

РАЗМЕРНЫЙ СПЕКТР И ВНЕШНИЙ УГЛЕРОДНЫЙ ОБМЕН СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЕВИЩА ЦИСТОЗИРЫ

В статье П. Дж. Вангерски [1] описан крупномасштабный цикл органического углерода в океанах и поддерживается уже высказывавшаяся ранее [11, 19, 21] идея об исключительной важности, но недостаточной изученности микробной части морских биоценозов. Огромное значение этой самой тонкодисперсной и метаболически наиболее активной части живого вещества в океанах еще в 20-е годы предвидел В. И. Вернадский [2]. В комментарии [11] к статье П. Дж. Вангерски отмечается, что постепенный перенос интереса к мелким и мельчайшим группам организмов, к их сложному участию в экологическом метаболизме характерен для всего развития морской экологии. В такой же мере концептуальная эволюция отличается [11] стремлением использовать индивидуальную массу или размеры организмов как основание, по которому можно обобщить главные свойства разных систематических групп [13, 15, 18, 21]. В статье Ю. Г. Каменира [5] «размерный спектр» живого вещества морских экосистем, отвлеченный от таксономической принадлежности организмов, рассматривается в связи с метаболизмом циклических [4, 16] систем. Ю. Г. Каменир на теоретической модели показал, каким должен быть размерный состав биоты океана при различной трофности среды. Цель статьи показать, что связь размерного спектра и внешнего обмена проявляется не только в морских экосистемах, но также в структурно-функциональной организации отдельного растения — многоклеточной водоросли цистозир. Под внешним обменом будем понимать поступление в нее в процессе фотосинтеза и выделение в среду соединений углерода.

Материал и методы. Слоевище черноморских цистозир *Cystoseira barbata*, *C. crinita* состоит из набора «элементарных» цилиндрических структур — «осей» разных порядков (рис. 1, А), соподчиненных в ветви (рис. 1, Б), — совокупность которых образует целое слоевище (рис. 1, В). Весь ансамбль осей легко расчленяется и может быть представлен в виде непрерывного ряда гомологов разных размеров и массы. Слоевище *C. crinita* 5 лет имеет примерно 3 тыс. осей разных порядков. Схема и реализация иерархического структурно-функционального анализа подробно описаны в работах [10, 12].

Растения *C. crinita* были отобраны в прибрежной экосистеме с глубины 0,2 м. Эксперимент по определению видимого фотосинтеза проводился в двух ваннах с 20 л воды в каждой при естественной температуре воды и затененном солнечном свете. В каждую ванну помещали слоевища в возрасте до 2 лет с 4—6 верхушечными (рис. 1, В) ветвями, не подверженными разрушению, но без адвентивных. В ванну вносили $\text{NaH}^{14}\text{O}_3$ в концентрации 100 мкКи/л. По окончании 6,5-часовой экспозиции отмытые от радиоактивного раствора растения высушивались и расчленялись на ствол и осевые структуры I, II, III и IV порядков, которые для краткости будем называть «осями» и обозначать соответственно символами K_0 (ствол), K_{01} , K_{02} , K_{03} и K_{04} . Оси каждого порядка, взятые с одного слоевища, разделялись на размерно-весовые группы с шагом 0,1 мг сухой массы. В каждой размерной группе определяли численность осей (n_Σ), их общую сухую (w_Σ) и среднюю (w) массу, а также интенсивность видимого фотосинтеза, рассчитанного на единицу массы (μ_w).

Результаты. Каждый из четырех порядков структур цистозир, исключая ствол, представлен рядом гомологов разных размеров, массы и возраста. Точное соотношение размера и массы с возрастом не установлено, но последний уменьшается в ряду: K_0 — 18—20 лет, K_{01} —

7—10 мес, K_{02} — 3—3,5 мес, K_{03} — 2 мес, K_{04} — 1—1,5 мес. Частотные распределения осей (рис. 2) сходны с аналогичным распределением разновозрастных особей в популяциях [7, 17]. Это позволяет назвать каждый такой гомологический ряд «популяцией», а совокупность четырех осевых «популяций» — «слоевищем-сообществом».

Проследим распределение параметров n_{Σ} и w_{Σ} в размерных рядах осей K_{04} — K_{01} . Популяция осей K_{04} (рис. 2) создает впечатление сильно скошенного распределения. Как справедливо отмечает Ю. Г. Каменир [5], в био-

логии скошенные распределения нередко являются результатом изучения рядов, неполностью представленных с одной из сторон. Например, при изучении фотосинтеза морских макрофитов самая ранняя размерно-возрастная группа обычно выпадала из анализа и связь интенсивности фотосинтеза с индивидуальной массой описывалась степенным уравнением [18]. Когда размерно-возрастные ряды были изучены в полном объеме, оказалось, что связь названных параметров отражается логнормальной кривой [10, 12]. То же относится к данному случаю. Если левую часть ряда K_{04} проанализировать с меньшим шагом, то распределение окажется одновершинным (рис. 2, А), с крутым левым спуском, который легко может быть не замечен.

Сопоставим (рис. 2) свойства рядов K_{04} — K_{01} . Ряд K_{04} характеризуется малым (до 1 мг) размерным интервалом, сильным преобладанием структур с наименьшей (до 0,1 мг) индивидуальной массой, резким снижением количества структур при уменьшении их массы. В направлении от K_{04} и K_{01} увеличивается длина гомологического ряда, уменьшается численность структур самой малоразмерной группы и увеличивается численность крупноразмерной группы. Распределение суммарной массы (рис. 3) в тех же рядах складывается аналогично. Очевидное одновершинное распределение w_{Σ} осевых структур четвертого и третьего порядков сменяется у второго и первого порядков скошенным слева направо, что можно рассматривать как вырождение одновершинности с правого края. По-видимому, в целом можно говорить о закономерном смещении моды в сторону большей массы при уменьшении номера порядка. Распределение скорости фотосинтеза (P_{Σ}) в тех же рядах (рис. 4) сходно с распределением суммарной массы — одновершинное со смещением моды вправо при переходе от K_{04} и K_{01} .

Размерные спектры отдельных порядков можно соединить в один ряд, характеризующий весь осевой ансамбль слоевища, и исследовать ряд Σ_h с учетом свойств каждого порядка и их вклада в суммарный размерный спектр. Такой способ обобщения таксономической информации используется в океанографических работах [5, 11, 13, 15]. Размерный спектр слоевища получается путем суммирования значений параметров каждой размерной группы по всем четырем порядкам (рис. 2—4, кривые Σ_h). Разделим размерный спектр Σ_h на три участка с логарифмически кратными диапазонами масс: 0,01 — 1, 1 — 10 и 10 — 100 мг сухого веса; последний диапазон в данном случае заполнен не до конца. Для каждого участка рассчитаны значения n_{Σ} , w_{Σ} и P_{Σ} . Понятно, что каждый диапазон заполнен осями тех порядков, которые в нем встречаются, но представлены они неравномерно. Свойства каждого участка размерного спектра слоевища обобщены на рис. 5.

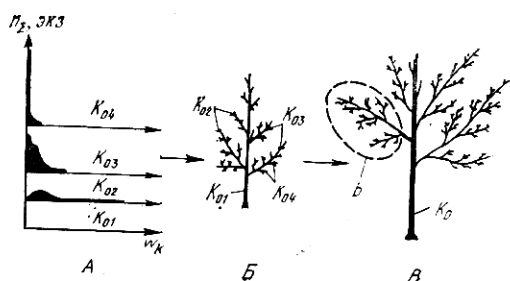


Рис. 1. А — схема частотного распределения осевых структур разного порядка (K_{01} — K_{04}) ветви с учетом их индивидуальной массы (w_k). Схема морфологической структуры ветви (Б) и целого слоевища (Б); б — ветка в составе слоевища; K_0 — ствол.

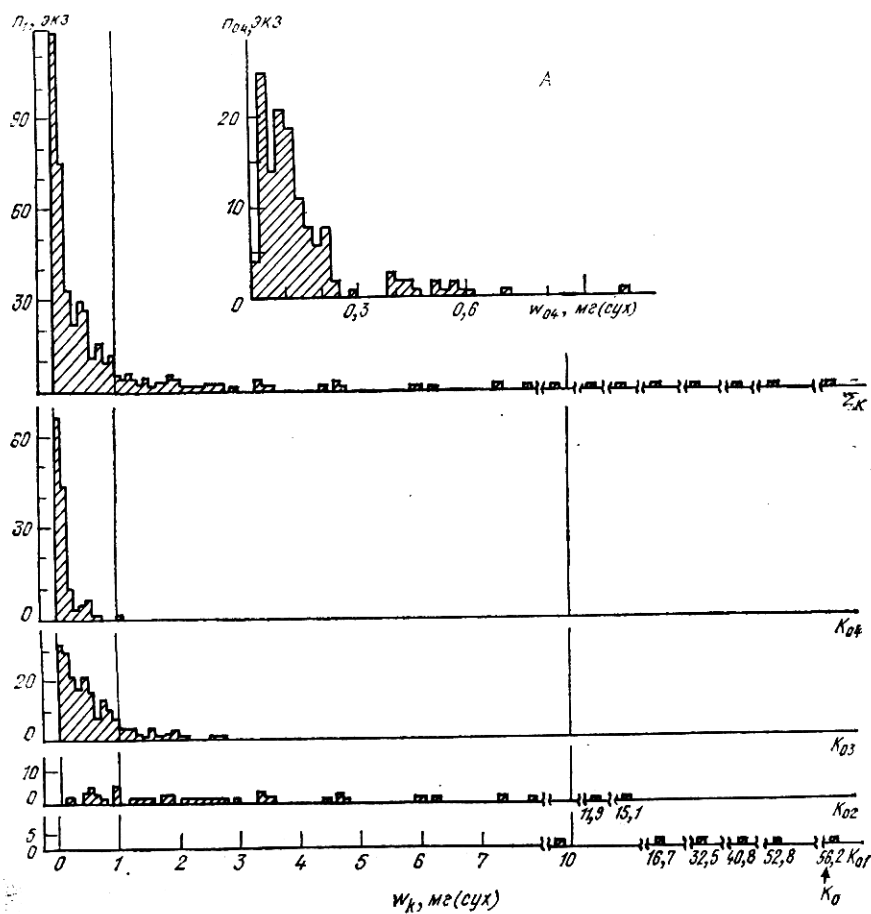


Рис. 2. Распределение численности (n_x) в размерных рядах (w_k , размерный шаг 0,1 мг сухой массы) осей разных порядков (K_{04} — K_{01}) и в осевом ансамбле всего слоевища (Σ_k). А — распределение численности осей четвертого порядка (n_{04}) в размерном спектре w_{04} при шаге 0,025 мг сухой массы.

Начиная с наименьшего размерного диапазона, отметим, что численность входящих в него осей определяется преимущественно участием третьего (56% общего количества осей) и четвертого (38%) порядков, а масса определяется в основном осями третьего порядка (69%) и лишь отчасти (20%) четвертого. Вклад осей первого и второго порядков в эту группу по численности и массе незначителен. Функциональные особенности этого диапазона определяются осями высших порядков. Высокий уровень метаболизма обуславливает их значительный (33%) вклад в общий фотосинтез, а большие скорости образования осей K_{04} и K_{03} по сравнению даже с K_{02} (рис. 6, А) позволяют значительно быстрее реагировать на изменение условий внешней среды, чем могут реагировать оси второго и первого порядков. Это действительно было показано при исследовании адаптации цистозиры к градиенту подвижности воды (рис. 6, Б, [7]). Другая важная особенность осей высших порядков состоит в том, что их метаболизм весьма неэкономичен, открыт во внешнюю среду, о чем можно судить по рис. 6, В. Оси K_{04} выделяют в среду 75—86% углерода, накопленного ими в процессе фотосинтеза, используя на рост всего 14—25%. Метаболизм осей K_{04} и K_{03} невыгоден еще и потому, что с увеличением их индивидуальной массы интенсивность фотосинтеза снижается значительно быстрее, чем у осей низших порядков [7, 9]. Поэтому одновышинные кривые распределения осей этих порядков (рис. 2, 3) круты, а диапазоны массы

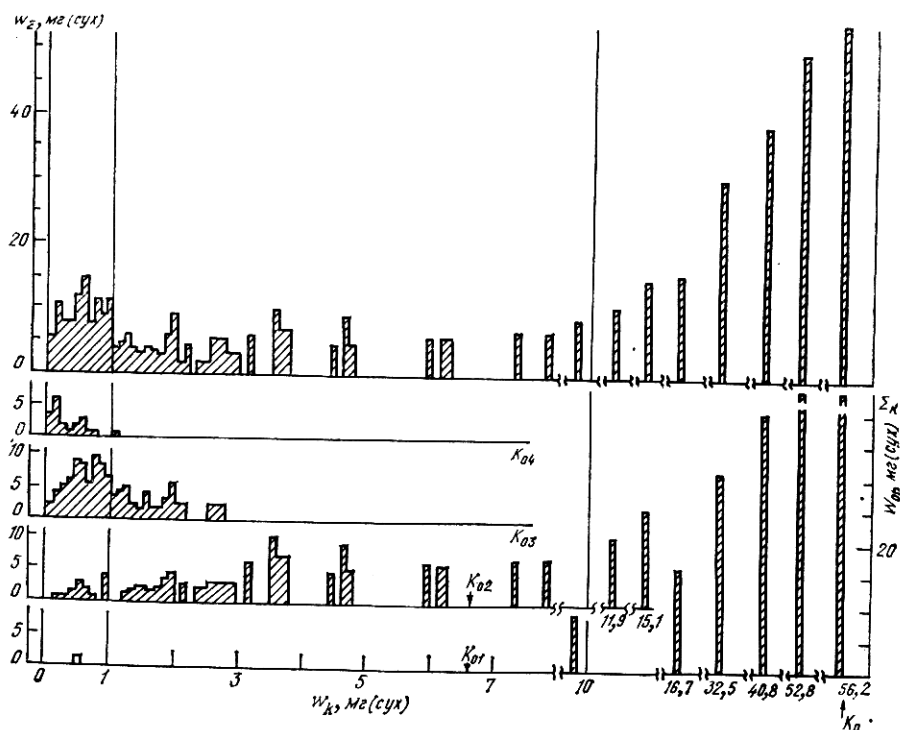


Рис. 3. Распределение суммарной массы (w_{Σ}) в размерных рядах (w_k , размерный шаг 0,1 мг сухой массы) осей разных порядков (K_{04} — K_{01}) и в ансамбле всего слоевища (Σ_k).

малы. Тем не менее в общем ансамбле осей слоевища цистозире этот размерный диапазон чрезвычайно важен, адаптивно наиболее динамичен.

Совсем другими свойствами обладают оси максимального размерного класса (в нашем случае 10—60 мг; рис. 5). Их численность сравнительно мала (2% общей), а суммарная масса велика (45%). В соответствии с большой индивидуальной массой осей K_{02} и особенно K_{01} интенсивность их фотосинтеза низка. Но, с другой стороны, их углеродный обмен очень экономичен (рис. 6, B): у осей K_{02} 94—96% углерода, накопленного в процессе фотосинтеза, используется на рост массы, т. е. выделение в среду пренебрежимо мало.

Распределение интенсивности видимого фотосинтеза μ_w в ряду Σ_k (рис. 4) имеет вид нисходящей кривой, но при разбиении диапазона 0,01—0,1 на более дробные группы у осей третьего—четвертого порядков выявляется одновершинность зависимости $\mu_w(w)$ (рис. 4, A). На этом примере удобно показать, что при недостаточной выборке или большом шаге наблюдения зависимость $\mu_w(w)$ может быть аппроксимирована степенной функцией $\mu_w = aw^{-b}$, что не отражает свойств всего ряда. Перемножение μ_w на w дает P_{Σ} . Отметим, что из трех параметров (n_{Σ} , w_{Σ} и P_{Σ}) P_{Σ} наиболее равномерно распределен на большей части размерного спектра: в наиболее важном для функции целого растения диапазоне массы, приблизительно от 1,5 до 15 мг, значения суммарного фотосинтеза осевых структур остаются примерно постоянными.

Сопоставляя свойства осей самого мелкого и самого крупного диапазонов, можно отметить, что они взаимно дополняют друг друга, выполняя в структуре слоевища разные, но одинаково необходимые функции, т. е. занимают в «слоевище-сообществе» разные ниши. Их равноважность четко проявляется в том, что по общей скорости фотосинтеза P_{Σ} они различаются незначительно (рис. 5).

Обращаясь к среднему размерному диапазону осевого ансамбля слоевища (масса 1—10 мг), заметим, что по структурно-функциональ-

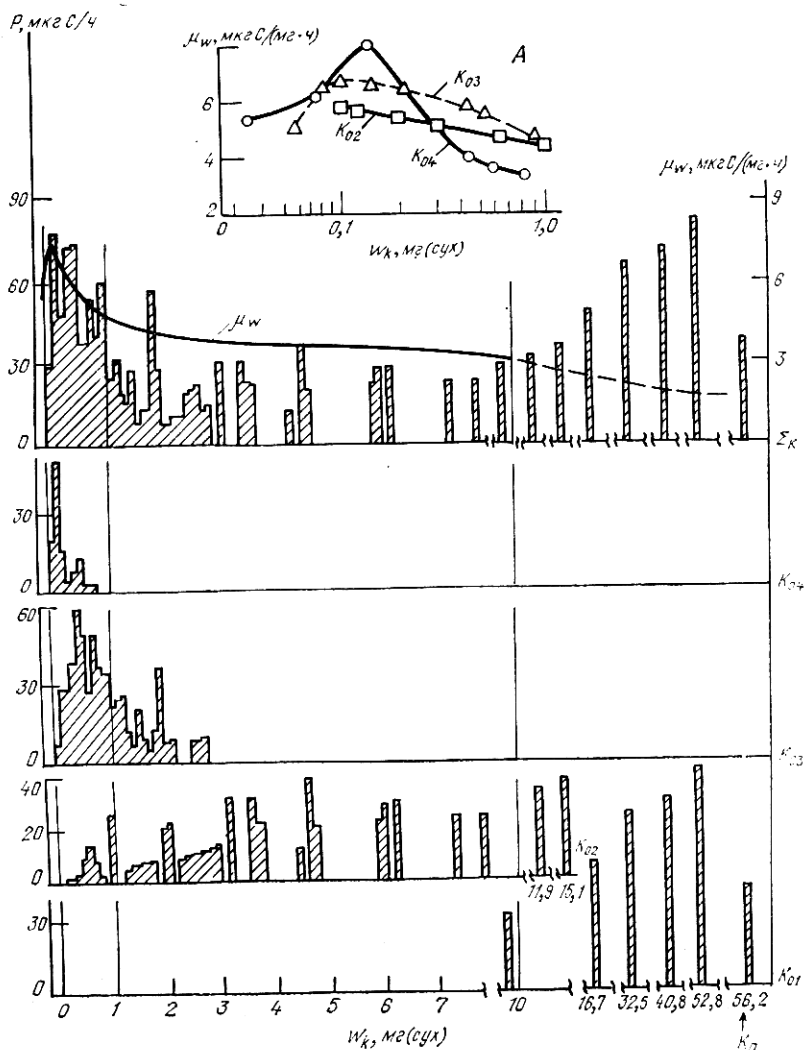


Рис. 4. Распределение скорости фотосинтеза (P_k) в размерных рядах (w_k , размерный шаг 0,1 мг сухой массы) осей разных порядков (K_{04} — K_{01}). Ряд Σ_k — распределение скорости фотосинтеза (P_k — гистограмма) и изменение интенсивности видимого фотосинтеза (μ_w — кривая) в ансамбле всего слоевища. А — интенсивность видимого фотосинтеза (μ_w) у осей второго — четвертого порядков как функция их индивидуальной массы (w_k).

ным параметрам он занимает промежуточное положение между двумя крайними, а по скорости фотосинтеза несколько выше каждого крайнего (рис. 5). В целом по всем трем размерным диапазонам создается впечатление, что скорость фотосинтеза — важнейший для растения параметр, который во всем ансамбле осей поддерживается на относительно неизменном уровне за счет существенных различий в разных частях размерного спектра. Трудно не увидеть в этом важнейшую особенность стратегии роста этой водоросли.

Обсуждение. Распределение биологических характеристик в ряду осевых структур цистозирры представляется особенно интересным потому, что они образуют естественный и, что особенно важно, **завершенный** структурный ансамбль, достаточный для осуществления всех функций растения во всем диапазоне условий его обитания. Поскольку таким же **завершенным** и полнофункциональным набором является совокупность видов, образующих биоту морской экосистемы, и поскольку ее также представляют в виде единого размерного ряда живого вещества

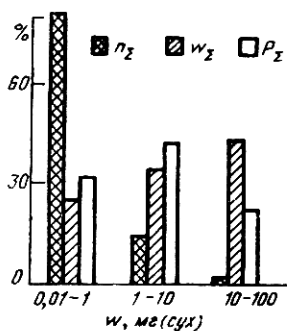


Рис. 5. Долевое (в %) распределение вклада параметров n_{Σ} , w_{Σ} и P_{Σ} на участках размерного спектра (0,01 — 1; 1 — 10; 10 — 100 мг сухой массы) всего слоевища цистозиры.

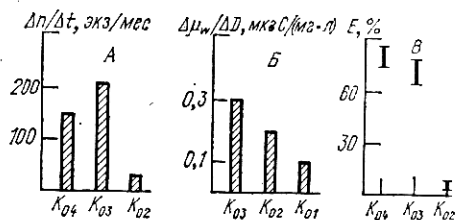


Рис. 6. Функциональные характеристики осевых структур первого—четвертого порядков (K_{01} — K_{04}). А — скорость образования осей второго—четвертого порядков у ветвей *S. barbata* в возрасте от 3 до 4 мес; Б — метаболическая «оплата» расхода воды $\frac{\Delta \mu_w}{\Delta D}$ осей первого—третьего порядков *S. crinita*, рассчитанная на единицу массы (по [7]); В — доля выделенного углерода (Е, %) у осевых структур второго—четвертого порядков *S. barbata* от количества углерода, накопленного за счет фотосинтеза (по [12]).

[13, 15, 19], целесообразно сравнение свойств обоих размерных распределений.

Прежде всего отметим сходство последовательности, в которой изучались разные участки обоих распределений. Известно, что интересы большинства биоокеанологов долго были сосредоточены на видах, особи которых имеют индивидуальную массу средних и крупных размеров (сетной планктон, нектон). Лишь в последние годы интерес существенно смещается в сторону нано-, пико- и фемтопланктона, т. е. мелких и мельчайших групп, исследование которых прежде было связано со значительными методическими трудностями, но которые, как теперь выясняется [1, 20, 21], играют чрезвычайно важную роль в метаболизме и продукции морских сообществ и экосистем. Аналогично в размерном ряду морских многоклеточных водорослей и их морфологических структур распределилось внимание морфологов, физиологов и биохимиков. В первую очередь изучались особи крупных и средних размеров, тогда как самая малоразмерная часть ряда изучена менее всего в основном по тем же причинам, что и в малоразмерных группах организмов океана. Недостаточная изученность начальной части ряда привела к тому, что как в морской биологии, так и в биологии растений были предложены степенные уравнения, аппроксимирующие связи разных биологических параметров с размером или индивидуальной массой особей. В биологии моря они распространены до сих пор [3], а в биологии растений [10, 12] и отчасти животных [8] их неадекватность уже обнаружена.

Разумеется, сходство в истории исследований не случайно, оно отражает общие свойства рядов полидисперсного живого вещества. Именно эти общие свойства и представляют наибольший интерес. Сейчас есть достаточно оснований полагать, что базовые принципы функционирования всех открытых биологических систем с циклами вещества сходны. В нашем случае обратим внимание на сходство размерного спектра живого вещества в морских экосистемах [13, 19, 21] и цистозиры. В экосистеме совокупность размерных распределений видов, а в слоевище совокупность аналогичных распределений осей приводит к относительно равномерному заполнению всего размерного диапазона биологических структур обеих систем. Заметим также, что

в ряду осевых структур цистозеры стабилизируется скорость образования органического вещества на единицу масштаба размерной шкалы (гистограмма Σ_k в диапазоне 1,5—15 мг, рис. 4). Аналогичная стабилизация по ряду параметров ветвей цистозеры в средней части их онтогенеза, а следовательно, и размерного ряда, уже описана ранее [7, 9, 10]. Вероятно, в этом проявляется тот же феномен, который в масштабах биосферы В. И. Вернадский называл относительно постоянством основных биогеохимических функций живого вещества.

В плане общности базовых принципов организации живого вещества уместно сопоставить индивидуальное развитие морского планктонного сообщества и ансамбля осевых структур слоевища цистозеры. Относительно пелагического сообщества океана известно [14], что сукцессия совпадает с переходом от эвтрофного состояния, характерного для вод апвеллинга, к олиготрофному состоянию в водах открытого океана. Базовым функциональным показателем такого сообщества считается отношение деструкции к продукции, которое в ходе сукцессии увеличивается от 0,3 до 20 [14]. Известно также, что биота эвтрофных вод характеризуется обилием мелких форм с короткими жизненными циклами и с интенсивным метаболизмом и что с переходом в олиготрофные условия доля крупных длинноциклических форм увеличивается, интенсивность метаболизма особей снижается. В последние годы показано, что в сообществах эвтрофных вод особенно велики метаболические утечки в водную среду и обратное использование метаболитов, растворенных в воде мелкими организмами сообщества. Аналогичная картина изменения биоты морских и пресноводных экосистемы связи с антропогенным эвтрофированием вод описана А. Ф. Карпевич [6]. Материалы об осевом ансамбле цистозеры и его функциональных свойствах показывают принципиально такую же картину изменений в онтогенезе. Ранние стадии онтогенеза можно условно приравнять к «эвтрофным», имея в виду, что зачатки осей, появляющиеся на материнской оси, максимально обеспечены притоком питательных веществ, а по мере собственного роста и развития осей они постепенно переходят в условно «мезотрофное» и «олиготрофное» состояния.

Заключение. Анализ размерных и возрастных рядов проводится в биологии морских организмов, экологической физиологии и экологии давно, с разной целью и в различных формах. Однако преобладает наиболее простая форма отображения свойств биологических тел в рядах — аллометрическое описание связи скорости или интенсивности физиологических функций или иных параметров с индивидуальной массой, причем область определения степенной функции почти никогда не указывается. Как было показано, при анализе размерных серий, во-первых, необходимо указывать пределы изменения индивидуальной массы, в которых то или иное уравнение справедливо. Во-вторых, важной частью анализа должны быть частотные характеристики членов ряда. В экологических задачах пример частотных характеристик можно найти в работах В. Б. Цейтлина [13]. В-третьих, анализ серий существенно обогащается, если члены ряда характеризуются целой группой морфологических и функциональных параметров, что отражает жизнь изучаемого объекта значительно более полно и объемно. Наконец, очень важно, чтобы изучаемый ряд не был случайным подмножеством, но сколь возможно полно отражал весь ансамбль структурных элементов данной системы. Выпадение какой-либо части ряда или анализ с недостаточным шагом могут вести к потере важных свойств. При наблюдении перечисленных минимальных условий сложный биологический объект (отдельное сложное растение или морская экосистема) может быть содержательно описан как «размерный спектр» полидисперсного живого вещества в понимании В. И. Вернадского [2].

Возрастной (онтогенетический) ряд одновременно заключает в себе ряд состояний трофической обеспеченности — максимальной в начале и минимальной в конце ряда. Сукцессия морских планктонных сообщ-

шеств, ранние стадии которых начинаются в зоне апвеллинга, а поздние заканчиваются в олиготрофных водах, в принципе соответствует и онтогенезу организмов, и трофическому ряду. Сходство в изменении «размерных спектров» живого вещества во всех трех сериях позволяет предполагать их глубокое внутреннее сходство, пока не привлекавшее внимания исследователей.

1. Вангерски П. Дж. Цикл органического углерода в океане. — Экология моря, 1986, вып. 24, с. 3—24.
2. Вернадский В. И. Эволюция видов и живое вещество. — Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1960, т. 5, с. 238—251.
3. Гутельмахер И. Б. Метаболизм планктона как единого целого (трофометаболические взаимодействия зоопланктона и фитопланктона): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Л., 1983. — 31 с.
4. Каменир Ю. Г. Количественный анализ внутренних потоков экологических систем. — Севастополь, 1983. — 27 с. — Рукопись деп. в ВИНТИ, № 2796—83. Деп.
5. Каменир Ю. Г. Размерная структура циклических систем: взаимосвязь параметров. — Экология моря, 1986, вып. 24, с. 42—51.
6. Каревич А. Ф. Причины изменений в структуре водных экосистем. — В кн.: IV съезд ВГБО: Тез. докл. Киев, 1—4 дек. 1981. Киев: Наук. думка, 1981, ч. 1, с. 75—76.
7. Ковардаков С. А., Празукин А. В., Фирсов Ф. К., Попов А. Е. Комплексная адаптация цистозир к градиентным условиям. — Киев: Наук. думка, 1985. — 223 с.
8. Кспылов А. И. Питание и продукция планктонных инфузорий Рыбинского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Севастополь, 1983. — 23 с.
9. Празукин А. В. Удельная поверхность осевых структур *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag. как регулятор входного потока углерода. — Экология моря, 1983, вып. 14, с. 70—75.
10. Фирсов Ю. К. Иерархический структурно-функциональный анализ морской многоклеточной водоросли цистозира барбата: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Севастополь, 1984. — 20 с.
11. Хайлов К. М. Концептуальная эволюция модели морского биоценоза и обмена веществ в нем. — Экология моря, 1986, вып. 24, с. 25—33.
12. Хайлов К. М., Парчевский В. И. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. — Киев: Наук. думка, 1983. — 253 с.
13. Цейтлин В. Б. Энергетические характеристики и размерное распределение пелагических организмов в тропических районах океана. — Океанология, 1981, 21, № 3, с. 529—536.
14. Шушкина Э. А., Виноградов М. Е. Изменение структурно-функциональных характеристик планктонных сообществ по мере их развития. — Океанология, 1983, 23, № 5, с. 863—872.
15. Численко Л. Л. Структура фауны и флоры в связи с размерами организмов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. — 205 с.
16. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. — М.: Мир, 1983. — 109 с.
17. Hett J. M., Loucks O. L. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock. — J. Ecol., 1976, 64, N 3, p. 1029—1044.
18. Khailov K. M., Firsov Yu. K. The relationships between weight, age and intensity of photosynthesis and organotrophy in the thallus of *Cystoseira barbata* from the Black Sea. — Bot. Mar., 1976, 19, p. 329—332.
19. Konover R. J. Feeding interactions in the pelagic zone. — Rapp. et proc.-verb. reun. Cons. perm. int. explor. mer., 1978, 173, p. 66—76.
20. Pomeroy L. R. The ocean's food web, a changing paradigm. — Bioscience, 1974, 24, p. 499—504.
21. Sieburth J. Mc. N. Microbial and organic-chemical processes in the surface and mixed layers. — In: Air-Sea Exchange of Gases and Particles. Reidel Publ. Co., N. Y., 1983, p. 121—172.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР, Севастополь

Получено 14.02.85

A. V. PRAZUKIN, K. M. KHAILOV

DIMENSIONAL SPECTRUM AND OUTER CARBON EXCHANGE OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF CYSTOSIRA THALLUS

Summary

The complex thallus of marine low plant (*Cystosira*) is apprehended as an esemble of homologues of an elementary simple form (axial structures — „axes“). The frequent distribution of the *Cystosira* axis esemble is considered by a series of morphological

and functional parameters. The individual mass, as a particular case of the dimensional spectrum, is the basis of this series. It is shown that both the individual complex plant and marine ecosystem may be described as „dimensional spectra“ of the polydisperse living substance according to V. I. Vernadsky. Attention is paid to the similarity of the dimensional spectrum of the living substance in marine ecosystems and the *Cystosira* thallum. Individual development of the marine planktonic community and ensemble of the *Cystosira* axial structures are compared. The dimensional (ontogenetic) series consists of a number of states of trophic provision — the maximal at the beginning and minimal in the end of the series.

УДК 577.4

Ю. Г. КАМЕНИР

РАЗМЕРНАЯ СТРУКТУРА ЦИКЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ

Современный этап развития гидробиологии характеризуется масштабностью, остротой и неотложным характером теоретических и практических задач (загрязнение и деградация окружающей среды, снижение эффективности рыболовства, проблема энергетического дисбаланса Мирового океана и др.), с одной стороны, и возрастанием технического оснащения, разнообразия приемов и методов — с другой.

Поступающая информация, расширяя наши знания о характере, масштабах и разнообразии процессов, происходящих в океане, не всегда укладывается в рамки используемых в настоящее время концепций и схем. Многие специалисты высказывают мнение о необходимости разработки новых, более реалистических и детальных моделей трофической сети, потоков вещества и энергии в ней [7, 18]. Важнейшая особенность современного описания океана — огромное разнообразие процессов трансформации РОВ и детрита, регенерации биогенов, сравнительно замкнутый круговорот веществ, а также большая роль в этих процессах мельчайших организмов (1—3 мкм и менее) [2, 12, 17, 18, 21].

Одним из результатов разработки новых концептуальных моделей и технических средств может стать появление новых наборов параметров, достаточно полно и эффективно описывающих структуру и функционирование экосистем, а также удобных для измерения и анализа. К их числу, по нашему мнению, помимо таких общебиологических показателей, как АТФ, ДНК, РНК, хлорофилл, относятся и размерная структура живого и биокосного вещества, образующего экосистему. Появление электронных и оптических приборов для подсчета числа частиц, определения их размеров и объема обеспечивает оперативный сбор в автоматическом режиме больших объемов информации, необходимой для описания размерного спектра [8, 16, 20]. Наличие информации о размерах (массе, площади поверхности тела) живых организмов во многих биологических исследованиях делает такой показатель (размерную характеристику) удобным для упорядочения и классификации данных, что необходимо для выявления трендов и закономерностей [8, 9, 16]. Наличие обобщающих работ по влиянию размеров частиц (живые организмы, детрит и др.) на их свойства [6, 12—15, 20] делают его удобным при анализе моделей.

Анализу влияния размерной структуры на основные параметры экосистем и посвящена данная работа.

Модель, материалы, методы. § 1. Анализ проводится на базе теоретической модели. Литературные данные о влиянии размеров на основные параметры экосистемы (модели) собраны в виде графиков в единой системе координат. Для этого приняты следующие предположения:

- отношение сырой массы к углероду составляет 10 : 1;
- 1 гС = 10 ккал (41 868 Дж);