

2.10. СПЕКТР ВРЕМЕНИ УДВОЕНИЯ МАССЫ ТЕЛА ПО РАЗМЕРНЫМ КЛАССАМ ОРГАНИЗМОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО СООБЩЕСТВА ПЕЛАГИАЛИ БАЙКАЛА

Л.П. Спиглазов

2.10. TIME SPECTRUM OF BODY MASS DOUBLING IN DIFFERENT SIZE GROUPS OF ORGANISMS FROM A BIOLOGICAL PELAGIAL COMMUNITY OF BAIKAL

L.P. Spiglazov

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных научных проблем является иерархическая организация биологического сообщества [Хайлов, 1963, 1969; Заварзин, 1995, 1999; и др.]. По мнению Ю. Одума [1986], содержание современной экологии можно определить исходя из концепции уровней организации, которые составляют своеобразный биологический спектр. Иерархию он рассматривал как расположение ступенчатым рядом. С иерархическим строением биологического сообщества тесно связана специфика его пространственно-временной организации. Одним из основателей количественного подхода в постановке проблемы пространственно-временной организации живого вещества как совокупности организмов был В.И. Вернадский [1987, 1994]. Из современных работ необходимо отметить публикацию В.В. Налимова [2001]. Он считал, что для развития теоретической биологии необходима разработка абстрактно сформулированных представлений о собственно биологическом пространстве и времени. С учетом существенных различий организмов по массе их тела, по их пространственным и временным параметрам в биологическом сообществе, разработка этой проблемы требует применения системного масштабно-ориентированного подхода [Азовский, Чертопруд, 1998]. Наряду с другими подходами биологическое сообщество может рассматриваться и как совокупность множества организмов. К одним из основных количественных параметров организмов относится масса тела [Вернадский, 1978]. Этот параметр является универсальным масштабом, относительно которого закономерно меняются многие, в том числе функциональные, свойства организмов [Шмидт-Ниельсен, 1987]. Это скорость роста, интенсивность энергетического обмена, пространственные и временные параметры и т.д. Все они связаны с массой тела закономерными статистическими связями, выраженными в форме аллометрических уравнений [Винберг, 1966; Заика, 1985; Алимов, 1992; Hemmingsen, 1960; Sheldon et al., 1972; Fenchel, 1974; Gaedke, 1995; и др.]. Показано, что в водных экосистемах эти закономерные связи охватывают все размерное разнообразие организмов и проявляются независимо от их видовой специфики [Мусатов, 1994; и др.]. Функциональные, метаболические, параметры организмов, в свою очередь, тесно связаны с их биологическим временем [Шмидт-Ниельсен, 1987]. Исследование биологического времени, отражающего метаболическую активность организмов биологического сообщества, является одной из сторон в понимании его функциональной, иерархической, организации [Левич, 1989]. Проблема времени по числу публикаций вышла в последние десятилетия на одно из первых мест в мировой научной литературе [Молчанов, 1990; Хасанов, 2001]. При МГУ функционирует специальный Web-институт исследований природы времени, представленный 16 лабораториями-кафедрами, информация о котором опубликована на страницах журнала Scientific American [Левич, 2003]. Большое внимание в работах этого института посвящено и проблеме биологического времени.

Ранее на основе дифференцированного анализа разнообразия организмов пелагиали Байкала по массе их тела, проведенного независимо от их видовой принадлежности, нами высказана гипотеза о существовании системы дискретных уровней иерархической организации биологического сообщества, соответствующих системе размерных классов [Spiglazov, 2002].

Цель данного исследования — на основе предложенной автором показательной функции рассчитать последовательный ряд значений времени удвоения массы тела по размерным классам организмов (уровням

организации) биологического сообщества пелагиали Байкала (начиная от бактерий и до нерпы), а по полученным значениям спектра — общее время жизни организмов на примере ряда видов пелагиали и сравнить полученные результаты с опубликованными данными исследований этих же байкальских видов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования в работе выступают организмы биологического сообщества пелагиали Байкала. Динамическая устойчивость условий пелагиали определяется громадным объемом водной массы озера ($23\,000\text{ км}^3$) [Байкал: атлас, 1993]. Видовое разнообразие населяющих его организмов исследовано разносторонне и глубоко [Кожов, 1962; Атлас..., 1995; и др.].

Исходя из задач работы, необходимо было разбить все размерное разнообразие организмов пелагиали Байкала начиная от бактерий до нерпы на совокупность размерных классов. Для их получения использована логарифмическая шкала [Численко, 1981], построенная на основе геометрической прогрессии, с одной из выбранных величин ее знаменателя [Каменир, 1987]. Для определения интервалов размерных классов организмов по массе их тела использована следующая геометрическая прогрессия со знаменателем прогрессии, равным 2:

$$D_i = D_1 \cdot 2^{i-1}, \quad (1)$$

где D_i — последовательный ряд значений, ограничивающих интервалы размерных классов (г сырой массы), D_1 — минимальная масса бактериальной клетки в 1-м размерном классе. Исходя из эмпирических данных [Спиглазов и др., 1992], она была принята равной $3 \cdot 10^{-13}$ г, 2 — знаменатель прогрессии, i — последовательный ряд целых чисел — 1, 2, 3, 4, 5 и т.д.

Ранее было показано, что основная совокупность организмов пелагиали Байкала может быть представлена в форме эмпирического спектра средних масс тела организмов, которые распределены в 58 размерных классах. Этот эмпирический размерный спектр аппроксимируется показательной функцией, представленной геометрической прогрессией [Spiglazov, 2002]. В данной работе эта функция использована для вычисления средних значений массы тела организмов для всей совокупности размерных классов. Она имеет следующий вид:

$$W_n = W_1 \cdot 2^{n-1}, \quad (2)$$

где W_n — средняя масса тела организма в соответствующем размерном классе (г сырой массы); $W_1 = 4.2 \cdot 10^{-13}$ г — среднегеометрическая масса тела организмов в 1-м размерном классе (бактерии); 2 — константа (основание показательной функции); n — последовательный ряд целых чисел, которые соответствуют порядковым номерам размерных классов (от 1 до 58).

Необходимо отметить, что каждый размерный класс представляет собой совокупность организмов разных видов, масса тела которых ограничена пределами размерного класса.

В качестве параметра внутреннего биологического времени, характерного для всего размерного разнообразия организмов, представленных совокупностью размерных классов, в работе используется понятие — время удвоения массы тела организмов в размерном классе. Для получения всего ряда этих значений автором работы предложена и использована следующая показательная функция, представленная геометрической прогрессией:

$$t_n = t_1 \cdot 1.19^{n-1}, \quad (3)$$

где t_n — среднее время удвоения массы тела организмов в соответствующем размерном классе; t_1 — время удвоения массы тела организмов (бактерий) в 1-м размерном классе, оно совпадает с временем генерации бактерий и, на основании анализа литературы [Лях, 1976; Романенко, 1985; Максимова, Максимов, 1989], для условий пелагиали Байкала было принято равным 4 ч, исходя из работ В.И. Вернадского, эта величина (t_1) может быть названа единицей биологического времени [Вернадский, 1992]; 1.19 — константа (основание показательной функции), она получена из двух функций — показательной функции 2 (см. выше) и степенной, отражающей связь между массой тела организмов и временными параметрами, где показатель степени в среднем составляет 0.25 [Шмидт-Ниельсен, 1987; Мусатов, 1994; и др.]; n — последовательный ряд целых чисел, как и в функции 2.

Для целостного представления и привязке к видовому составу основной материал, представленный в работе в виде таблицы, переведен в графическую форму. Для представления величин в относительных безразмерных единицах все значения спектра масс и спектра времени были разделены на соответствующие показатели 1-го размерного класса. Затем полученные значения были прологарифмированы и представлены в

виде вертикальных диаграмм. Рисунок дополнен видами либо группами видов пелагиали с указанием соответствующих диапазонов размерных классов. Для этой цели использованы опубликованные материалы, ссылки на которые даны ниже.

Оценка соответствия полученного ряда значений времени удвоения массы тела реальным природным свойствам организмов заключалась в следующем. Была рассчитана общая продолжительность жизни организмов для ряда пелагических видов (в соответствии с массой их тела). Для этого на основе минимальных и максимальных значений массы тела соответственно на начальных и конечных стадиях развития определяли диапазон номеров размерных классов организмов анализируемого вида, а затем общее время жизни организмов как сумму времени их пребывания во всех размерных классах (соответствующего виду размерного диапазона). Время пребывания организмов в размерных классах принято равным времени удвоения массы тела организмов. Определение общего времени жизни организмов биологического вида можно представить в форме следующего выражения:

$$T = t_n + t_{n+1} + t_{n+2} + t_{n+3} + \dots + t_{n+k}, \quad (4)$$

где T — общая продолжительность жизни организмов, t_n, t_{n+1}, t_{n+2} и т.д. — среднее время удвоения массы тела в соответствующих виду размерных классах.

В работе были использованы опубликованные материалы по времени жизни и массе тела следующих организмов пелагиали Байкала: рачка эпишуры (*Epischura baicalensis*) [Афанасьева, 1977; Кожова, 1956], циклопа (*Cyclops kolensis*) [Мазепова, 1978], бычка-желтокрылки (*Cottocomphorus grewingki*) [Коряков, 1972; Пастухов и др., 1969], малой голомянки (*Comphorus dybowskii*), большой голомянки (*Comphorus baicalensis*) [Стариков, 1977; Коряков, 1964, 1972], омуля (*Coregonus autumnalis migratorius*) [Смирнов, 1977], сига (*Coregonus lavaretus lavaretus*) [Мамонтов, 1983], осетра (*Asipenser baeri baicalensis*) [Егоров, 1958], нерпы (*Phoca sibirica*) [Пастухов, 1993]. Кроме того, из ряда работ использованы данные только по массе тела некоторых байкальских гидробионтов: одиночных бактерий и бактериальных агрегатов [Спиглазов и др., 1992], бесцветных жгутиковых [Таничев, 1993; Атлас..., 1995], инфузории [Эггерт, 1971], коловраток [Кожова, Бейм, 1993], макроректопуса (*Macrohectopus branickii*) [Бекман, Афанасьева, 1977].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью функции 1 все размерное разнообразие организмов биологического сообщества пелагиали Байкала по массе их тела было разбито на 58 логарифмически равных размерных классов. Эта совокупность размерных классов охватила организмы пелагиали Байкала — от бактерий до нерпы. Каждый размерный класс имеет свой порядковый номер, который соответствует уровню иерархической организации биологического сообщества (табл. 1). Номера размерных классов использовались в дальнейшем при вычислении внутреннего биологического времени, характеризующего организмы размерных классов. Данная таблица была необходима и для распределения организмов, представляющих виды биологического сообщества, по соответствующим размерным классам, чтобы было возможным определять их временные параметры (см. табл. 1). Средняя масса тела организма по размерным классам для их табличного представления была вычислена на основе функции 2 (табл. 2). Как было установлено ранее, каждому размерному классу соответствует определенная группа организмов, которые обитают в пелагиали Байкала и имеют близкую массу тела [Spiglavov, 2002].

Пребывание организмов в соответствующем размерном классе равно времени удвоения массы тела организмов за счет процессов их роста. По истечении этого промежутка времени и достижении организмами предельной для данного размерного класса массы тела они переходят в следующий размерный класс. Таким образом происходит постоянная замена организмов размерного класса. Время удвоения массы тела организмов является одним из параметров внутреннего биологического времени для характеристики организмов любого размерного класса, одновременно это и время их замены в размерном классе. Для вычисления всего ряда этих величин (см. табл. 2) в работе предложена и использована показательная функция 3. Время удвоения массы тела организмов в условиях пелагиали Байкала изменяется от 4 ч для 1-го класса, представленного мелкими бактериями, до 80 тыс. ч (около 9 лет) для 58-го класса, представленного нерпой и осетром. Различие составило около 20 тыс. раз.

Размерный класс представляет собой совокупность организмов разных видов (см. рисунок), конкретному виду организмов соответствует определенная совокупность размерных классов. Номера размерных классов выступают и как номера уровней иерархической организации биологического сообщества. Каждому

Таблица 1

Система размерных классов организмов пелагического сообщества Байкала и соответствующие каждому классу интервалы массы тела

Номер размерного класса	Предельные значения массы тела организмов, г сырой массы	Номер размерного класса	Предельные значения массы тела организмов, г сырой массы	Номер размерного класса	Предельные значения массы тела организмов, г сырой массы
1	$2.97 \cdot 10^{-13} - 5.94 \cdot 10^{-13}$	21	$3.11 \cdot 10^{-7} - 6.23 \cdot 10^{-7}$	41	$3.27 \cdot 10^{-1} - 6.53 \cdot 10^{-1}$
2	$5.94 \cdot 10^{-13} - 1.19 \cdot 10^{-12}$	22	$6.23 \cdot 10^{-7} - 1.25 \cdot 10^{-6}$	42	$6.53 \cdot 10^{-1} - 1.31$
3	$1.19 \cdot 10^{-12} - 2.38 \cdot 10^{-12}$	23	$1.25 \cdot 10^{-6} - 2.49 \cdot 10^{-6}$	43	$1.31 - 2.61$
4	$2.38 \cdot 10^{-12} - 4.75 \cdot 10^{-12}$	24	$2.49 \cdot 10^{-6} - 4.98 \cdot 10^{-6}$	44	$2.61 - 5.22$
5	$4.75 \cdot 10^{-12} - 9.50 \cdot 10^{-12}$	25	$4.98 \cdot 10^{-6} - 9.97 \cdot 10^{-6}$	45	$5.22 - 1.04 \cdot 10$
6	$9.50 \cdot 10^{-12} - 1.90 \cdot 10^{-11}$	26	$9.97 \cdot 10^{-6} - 1.19 \cdot 10^{-5}$	46	$1.04 \cdot 10 - 2.09 \cdot 10$
7	$1.90 \cdot 10^{-11} - 3.80 \cdot 10^{-11}$	27	$1.19 \cdot 10^{-5} - 3.99 \cdot 10^{-5}$	47	$2.09 \cdot 10 - 4.18 \cdot 10$
8	$3.8 \cdot 10^{-11} - 7.60 \cdot 10^{-11}$	28	$3.99 \cdot 10^{-5} - 7.97 \cdot 10^{-5}$	48	$4.18 \cdot 10 - 8.36 \cdot 10$
9	$7.60 \cdot 10^{-11} - 1.52 \cdot 10^{-10}$	29	$7.97 \cdot 10^{-5} - 1.59 \cdot 10^{-4}$	49	$8.36 \cdot 10 - 1.67 \cdot 10^2$
10	$1.52 \cdot 10^{-10} - 3.04 \cdot 10^{-10}$	30	$1.59 \cdot 10^{-4} - 3.19 \cdot 10^{-4}$	50	$1.67 \cdot 10^2 - 3.34 \cdot 10^2$
11	$3.04 \cdot 10^{-10} - 6.08 \cdot 10^{-10}$	31	$3.19 \cdot 10^{-4} - 6.38 \cdot 10^{-4}$	51	$3.34 \cdot 10^2 - 6.69 \cdot 10^2$
12	$6.08 \cdot 10^{-10} - 1.22 \cdot 10^{-9}$	32	$6.38 \cdot 10^{-4} - 1.28 \cdot 10^{-3}$	52	$6.69 \cdot 10^2 - 1.34 \cdot 10^3$
13	$1.22 \cdot 10^{-9} - 2.43 \cdot 10^{-9}$	33	$1.28 \cdot 10^{-3} - 2.55 \cdot 10^{-3}$	53	$1.34 \cdot 10^3 - 2.68 \cdot 10^3$
14	$2.43 \cdot 10^{-9} - 4.87 \cdot 10^{-9}$	34	$2.55 \cdot 10^{-3} - 5.10 \cdot 10^{-3}$	54	$2.68 \cdot 10^3 - 5.35 \cdot 10^3$
15	$4.87 \cdot 10^{-9} - 9.73 \cdot 10^{-9}$	35	$5.10 \cdot 10^{-3} - 1.02 \cdot 10^{-2}$	55	$5.35 \cdot 10^3 - 1.07 \cdot 10^4$
16	$9.73 \cdot 10^{-9} - 1.95 \cdot 10^{-8}$	36	$1.02 \cdot 10^{-2} - 2.04 \cdot 10^{-2}$	56	$1.07 \cdot 10^4 - 2.14 \cdot 10^4$
17	$1.95 \cdot 10^{-8} - 3.89 \cdot 10^{-8}$	37	$2.04 \cdot 10^{-2} - 4.08 \cdot 10^{-2}$	57	$2.14 \cdot 10^4 - 4.28 \cdot 10^4$
18	$3.89 \cdot 10^{-8} - 7.79 \cdot 10^{-8}$	38	$4.08 \cdot 10^{-2} - 8.16 \cdot 10^{-2}$	58	$4.28 \cdot 10^4 - 8.56 \cdot 10^4$
19	$7.79 \cdot 10^{-8} - 1.56 \cdot 10^{-7}$	39	$8.16 \cdot 10^{-2} - 1.63 \cdot 10^{-1}$		
20	$1.56 \cdot 10^{-7} - 3.11 \cdot 10^{-7}$	40	$1.63 \cdot 10^{-1} - 3.27 \cdot 10^{-1}$		

Таблица 2

Система размерных классов организмов пелагического сообщества Байкала и соответствующие каждому классу средние значения массы тела и времени их удвоения

Номер размерного класса	Средняя масса тела организмов, г сырой массы	Среднее время удвоения массы тела организмов, ч	Номер размерного класса	Средняя масса тела организмов, г сырой массы	Среднее время удвоения массы тела организмов, ч	Номер размерного класса	Средняя масса тела организмов, г сырой массы	Среднее время удвоения массы тела организмов, ч
1	$4.2 \cdot 10^{-13}$	4.0	21	$4.4 \cdot 10^{-7}$	130	41	$4.6 \cdot 10^{-1}$	4200
2	$8.4 \cdot 10^{-13}$	4.8	22	$8.8 \cdot 10^{-7}$	150	42	$9.2 \cdot 10^{-1}$	5000
3	$1.7 \cdot 10^{-12}$	5.7	23	$1.8 \cdot 10^{-6}$	180	43	1.8	6000
4	$3.4 \cdot 10^{-12}$	6.7	24	$3.5 \cdot 10^{-6}$	220	44	3.7	7000
5	$6.7 \cdot 10^{-12}$	8.0	25	$7.0 \cdot 10^{-6}$	260	45	7.4	8400
6	$1.3 \cdot 10^{-11}$	9.5	26	$1.4 \cdot 10^{-5}$	310	46	$1.5 \cdot 10$	10 000
7	$2.7 \cdot 10^{-11}$	11	27	$2.8 \cdot 10^{-5}$	370	47	$3.0 \cdot 10$	12 000
8	$5.4 \cdot 10^{-11}$	14	28	$5.6 \cdot 10^{-5}$	440	48	$5.9 \cdot 10$	14 000
9	$1.1 \cdot 10^{-10}$	16	29	$1.1 \cdot 10^{-4}$	520	49	$1.2 \cdot 10^2$	17 000
10	$2.2 \cdot 10^{-10}$	19	30	$2.3 \cdot 10^{-4}$	620	50	$2.4 \cdot 10^2$	20 000
11	$4.3 \cdot 10^{-10}$	23	31	$4.5 \cdot 10^{-4}$	740	51	$4.7 \cdot 10^2$	24 000
12	$8.6 \cdot 10^{-10}$	27	32	$9.0 \cdot 10^{-4}$	880	52	$9.5 \cdot 10^2$	29 000
13	$1.7 \cdot 10^{-9}$	32	33	$1.8 \cdot 10^{-3}$	1000	53	$1.9 \cdot 10^3$	34 000
14	$3.4 \cdot 10^{-9}$	38	34	$3.6 \cdot 10^{-3}$	1200	54	$3.8 \cdot 10^3$	40 000
15	$6.9 \cdot 10^{-9}$	46	35	$7.2 \cdot 10^{-3}$	1500	55	$7.6 \cdot 10^3$	48 000
16	$1.4 \cdot 10^{-8}$	54	36	$1.4 \cdot 10^{-2}$	1800	56	$1.5 \cdot 10^4$	57 000
17	$2.8 \cdot 10^{-8}$	65	37	$2.9 \cdot 10^{-2}$	2100	57	$3.0 \cdot 10^4$	68 000
18	$5.5 \cdot 10^{-8}$	77	38	$5.8 \cdot 10^{-2}$	2500	58	$6.1 \cdot 10^4$	81 000
19	$1.1 \cdot 10^{-7}$	92	39	$1.2 \cdot 10^{-1}$	3000			
20	$2.2 \cdot 10^{-7}$	110	40	$2.3 \cdot 10^{-1}$	3500			

Спектры относительных значений средней массы тела и среднего времени удвоения массы тела организмов по размерным классам (уровням организации) биологического сообщества пелагиали Байкала.

уровню организации соответствует средняя масса тела организмов и среднее время удвоения массы. Время пребывания организмов в размерном классе равно времени удвоения массы их тела. Общее время жизни организмов каждого отдельного вида состоит из суммы времен их последовательного пребывания во всех соответствующих виду размерных классах или на всех соответствующих виду уровнях организации. Таким образом, имелась реальная возможность оценить теоретически рассчитанный спектр времени удвоения массы тела по его соответствию опубликованным материалам по общему времени жизни ряда организмов Байкала.

Среди гидробионтов Байкала наиболее исследовано время жизни у представителей ихтиофауны, поэтому в основном проанализированы эта группа организмов, а также 2 вида зоопланктона и нерпа. По табл. 1 определялся весь диапазон размерных классов организмов соответствующего вида. Затем из табл. 2 выбиралось соответствующее им время удвоения массы тела организмов. Сумма значений времени по всему диапазону размерных классов и составляла продолжительность жизни организмов данного вида (формула 4).

Результаты сравнительного анализа времени жизни для ряда организмов пелагиали приведены в табл. 3. Хорошее совпадение рассчитанных и эмпирических результатов отмечено для бычка-желтокрылки, малой голомянки, омуля, сига и нерпы. Для большой голомянки расхождение составило около 20 %, для осетра — около 15 %. Время метаморфоза для эпишуры полностью совпало с данными О.М. Кожовой

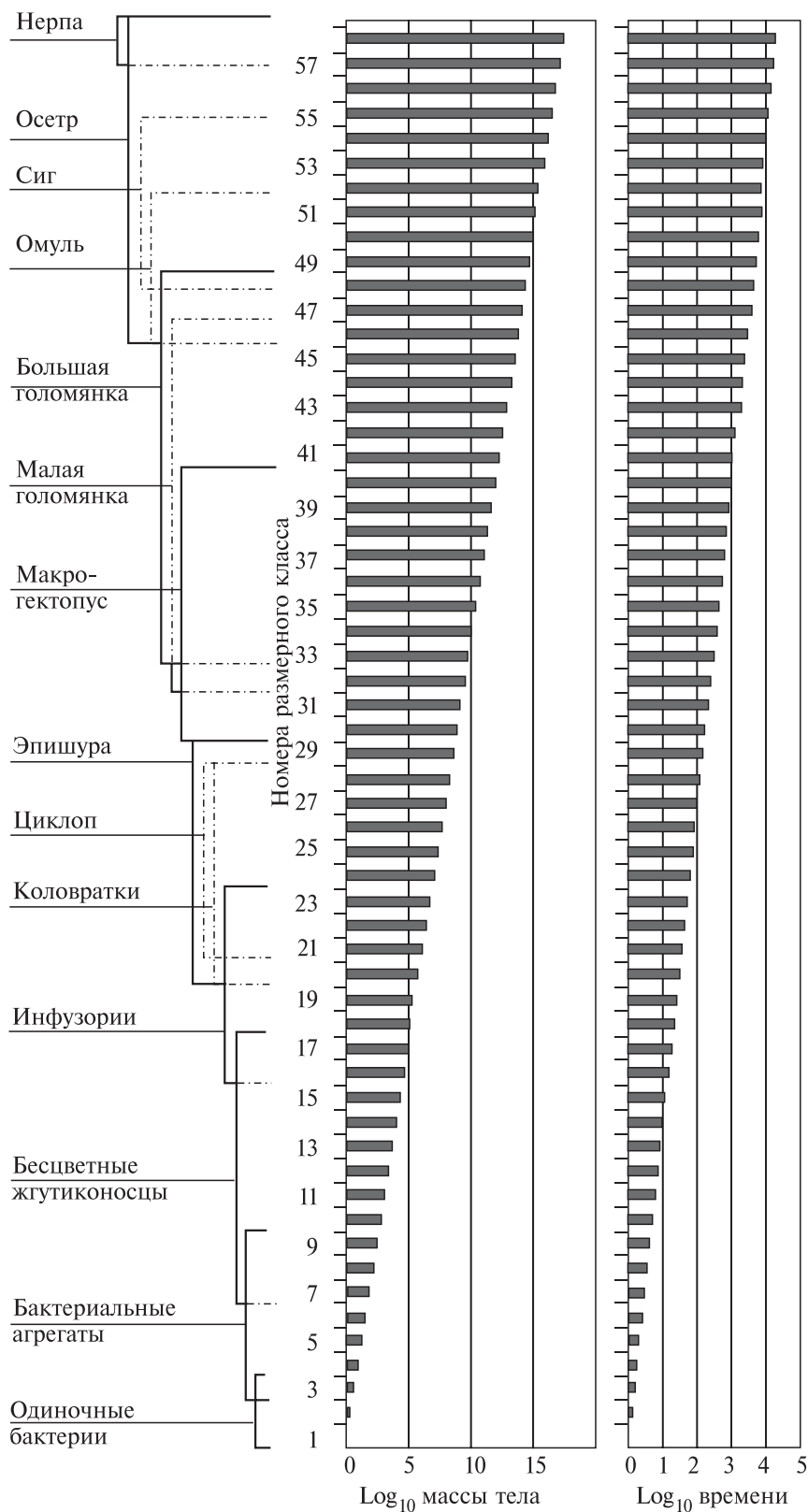


Таблица 3

Зависимость общего времени жизни организмов пелагиали Байкала от массы тела (г сырой массы) и соответствующего диапазона размерных классов (сравнение результатов теоретического расчета и наблюдений)

Организмы пелагиали Байкала	Масса тела (пределы), г	Номера размерных классов	Время жизни		Единицы времени
			Расчет*	Наблюдения**	
Эпишура, время метаморфоза	$2.5 \cdot 10^{-7} - 1.0 \cdot 10^{-4}$	20–27	72	90–180	Суток
Циклоп, время метаморфоза	$6 \cdot 10^{-7} - 5.4 \cdot 10^{-5}$	21–26	52	50–250	»
Бычок-желтокрылка	1–33	42–47	5.5	4	Лет
Малая голомянка	0.001–14.84	32–46	6.5	6	»
Большая голомянка	0.002–57.9	33–48	9.5	7	»
Омуль	16–650	46–51	11	11	»
Сиг	70–4750	48–54	20	20–22	»
Осетр	15–60 000	46–58	52	44	»
Нерпа	20 000–86 000	57–58	17	18	»

* Приведены теоретически рассчитанные в работе результаты.

** Результаты получены на основе натуральных наблюдений — использованы опубликованные материалы по эпишуре [Кожова, 1956; Афанасьева, 1977], циклопам [Мазепова, 1978], бычку-желтокрылке [Коряков, 1972], большой и малой голомянкам [Коряков, 1964; Стариков, 1977], омулю [Смирнов, 1977], сигу [Мамонтов, 1973], осетру [Егоров, 1958], нерпе [Пастухов, 1993].

[1956] и Э.Л. Афанасьевой [1977] для рачков летнего поколения. Для *Cyclops kolensis* время метаморфоза, рассчитанное нами, составило 50 сут, по эмпирическим результатам Г.Ф. Мазеповой [1978] — от 50 до 250 сут соответственно для рачков летнего и зимне-весеннего поколения.

Близость рассчитанных значений общего времени жизни организмов к опубликованным данным может свидетельствовать о соответствии значений временного ряда их природному проявлению. Следовательно, имеется возможность охарактеризовать и время существования организмов в отдельных размерных классах видовой популяции. Так, масса большой голомянки от процесса живорождения, происходящего непосредственно в пелагиали, до окончания жизни изменяется от 2 мг до 60 г, т.е. в 30 тыс. раз [Коряков, 1964]. Время удвоения массы тела или время нахождения голомянки в крайних размерных классах (33 и 48) составило соответственно 42 и 580 сут, т.е. различается в 14 раз (см. табл. 2). Остальные 14 значений заключены в этом промежутке. Использованный в работе подход позволил выделить и количественно охарактеризовать 16 размерно-временных стадий этого вида. Общее время жизни большой голомянки, по данным Е.А. Корякова [1964], 7 лет. У осетра количество размерных и временных стадий в соответствии с данными расчета составило 13. Общая продолжительность жизни осетра, по данным А.Г. Егорова [1958], — 44 года. Таким образом, использованный в работе подход позволяет выявить биологические временные стадии роста и развития организмов, которые дополняют их градацию по астрономическому возрасту.

Выше мы анализировали организмы тех видов, для которых экспериментально определено время их жизни. Результативность подхода позволяет применить его и к анализу организмов других видов. Так, одним из постоянных организмов пелагиали и неотъемлемым компонентом трофической цепи является макрогектопус (*Macrohectopus branickii*). Из-за трудностей его исследования до сих пор не определено общее время жизни этого организма. Предложенный в работе подход позволяет это сделать. По табл. 1 определяем, что по минимальной и максимальной массе тела этого организма 0.2 и 325 мг [Бекман, Афанасьева, 1977] ему соответствует размерный диапазон с 30-го по 40-й класс. Из табл. 2 выбираем значения времени (в часах), соответствующие этим размерным классам. Переведя часы в сутки, получим следующий ряд значений: 26, 31, 37, 42, 50, 63, 75, 88, 104, 125, 146. Они показывают время существования макрогектопуса, выраженное в сутках, в последовательных размерных классах с 30-го по 40-й. Их сумма составила 787 дней, или 26 мес. Это и будет общее время жизни макрогектопуса. Аналогично можно определить общее время жизни и длительность отдельных временных стадий для организмов любого другого вида пелагиали. Для этого необходимо лишь знать минимальную и максимальную массу организмов исследуемого вида.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный в работе подход открывает дополнительную возможность рассчитывать как длительность последовательных стадий роста организмов, так и общее время их жизни. Такая возможность особенно насущна для многочисленных видов, представленных мелкими организмами, в связи с трудностью их культивирования и невозможностью полностью воспроизвести в эксперименте реальную совокупность био-

тических и абиотических условий экосистемы. Охват анализом других организмов, при наличии данных о массе их тела, явится дальнейшей оценкой предлагаемого подхода.

Известно, что при удвоении массы тела время протекания этого процесса обратно пропорционально удельной скорости роста организмов [Заика, 1983]. Следовательно, основой формирования иерархической структуры биологического времени должна быть иерархическая структура удельной скорости роста организмов.

Скоростные характеристики биологических процессов, как и удельная скорость роста, обратны временным [Мусатов, 1994; и др.]. Значит, развитие предложенного подхода может иметь прямой выход и на проблемы расчета скорости роста, скорости продуцирования организмов, а также интенсивности энергетического обмена. Исходя из существования закономерного спектра времени удвоения массы тела организмов, следует ожидать, что в зависимости от высоты уровня организации должны закономерно меняться все эти параметры. При этом необходимо подчеркнуть, что они могут быть рассчитаны на основе внутреннего, системного, времени.

По результатам представленной работы можно выделить следующие основные аспекты. В дополнение к общепринятому рассмотрению биологического сообщества пелагиали оз. Байкал как совокупности биологических видов либо трофических групп оно рассмотрено как статистико-вероятностная совокупность организмов, ведущей количественной характеристикой которых является масса их тела.

Показано, что в качестве элементов биологического сообщества могут выступать организмы, объединенные в размерные классы независимо от их видового статуса и занимающие одинаковое место или уровень в иерархической организации биологического сообщества. Вследствие своей вероятностной природы размерные классы организмов биологического сообщества выступают как инвариантные, сохраняющиеся, элементы биологического сообщества.

Удвоение массы тела выступает как естественный природный шаг, который соответствует закономерной иерархической организации биологического сообщества и тесно связан с процессами роста организмов.

Анализ времени удвоения массы тела организмов подтвердил существование системы уровней иерархической организации биологического сообщества и конструктивность этой гипотезы [Spiglazov, 2002]. Время удвоения массы тела организмов, которое одновременно является и временем пребывания организмов в размерных классах, и временем их периодической замены, — параметр, присущий всем организмам сообщества. В общем, оно может выступать как один из параметров биологического времени. Наиболее глубоко и обоснованно проблема биологического времени была поставлена В.И. Вернадским [1987, 1988] и разрабатывается в настоящее время [Левич, 1989, 2003; Мусатов, 1994; Буданов, 1999; Азовский, 2001; Алимов, Казанцева, 2004; и др.].

В работе показано, что размерное и временное разнообразие организмов биологического сообщества пелагиали Байкала имеет закономерную иерархическую организацию. Существование взаимосвязанных размерного и временного спектров организмов свидетельствует о проявлении принципа масштабно-инвариантного подобия в иерархической организации биологического сообщества. Проявление этого принципа на всех масштабах массы тела и биологического времени организмов отражает фрактальную природу этих спектров. *Фракталами* обычно называют множества, которые обладают масштабной инвариантностью, т.е. в любом масштабе они выглядят практически одинаково [Мандельброт, 2002; Лоскутов, 2003].

Существование надвидовой иерархической организации биологического сообщества может рассматриваться и с позиций неравновесной термодинамики и теории самоорганизации [Курдюмов, Малинецкий, 1988; Пригожин, Стенгерс, 2001а, б; Князева, Курдюмов, 1994]. Исходя из методологии этих наук, биологическое сообщество может выступать как открытая, неравновесная, нелинейная, статистико-вероятностная система биологических элементов, представленных размерными классами организмов. С позиций такого подхода формирование закономерной иерархической организации биологического сообщества должно отражать наиболее оптимальную, иерархическую, пространственно-временную организацию материально-энергетических потоков живого вещества как совокупности организмов.

Исследование биологического сообщества как системы уровней его иерархической организации нуждается в дальнейшем развитии как по пути расширения охваченных исследованием параметров, так и по пути углубления целостного представления о нем. Разработка этого подхода в дополнение к имеющимся представлениям может дать новый импульс в количественном рассмотрении проблемы уровней пространственно-временной иерархической организации биологического сообщества. Введение инвариантной системы уровней организации позволяет иметь универсальную систему отсчета для целостного количественного представления структуры биологического сообщества.

Существование взаимосвязанных спектров массы тела и времени удвоения массы тела организмов по размерным классам может свидетельствовать о существовании закономерного спектра уровней иерархической организации биологического сообщества Байкала. Общей универсальной основой иерархической организации биологического сообщества выступает принцип масштабно-инвариантного подобия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Азовский А.И.** Соотношение пространственно-временных диапазонов в экологических иерархиях различной природы // Журн. общ. биологии. — 2001. — Т. 62, № 6. — С. 451–459.
- Азовский А.И., Чертопруд М.В.** Масштабно-ориентированный подход к анализу структуры сообществ // Журн. общ. биологии. — 1998. — Т. 59, № 2. — С. 117–136.
- Алимов А.Ф.** Характеристика популяций сообществ гидробионтов и масса животных // Докл. АН. — 1992. — Т. 323, № 3. — С. 588–591.
- Алимов А.Ф., Казанцева Т.И.** Рост животных и время // Докл. АН. — 2004. — Т. 396, № 4. — С. 561–563.
- Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала.** — Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1995. — 694 с.
- Афанасьева Э.Л.** Биология байкальской эпишуры. — Новосибирск: Наука, 1977. — 144 с.
- Байкал: Атлас.** — М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. — 160 с.
- Бекман М.Ю., Афанасьева Э.Л.** Распределение и продукция макрогектопуса // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. — Новосибирск: Наука, 1977. — С. 76–98.
- Буданов В.Г.** Метод ритмокаскадов: о фрактальной природе времени эволюционирующих систем // Синергетика: тр. семинара. — М.: Изд-во МГУ, 1999. — Т. 2. — С. 36–54.
- Вернадский В.И.** Живое вещество. — М.: Наука, 1978. — 358 с.
- Вернадский В.И.** Химическое строение биосферы земли и ее окружения. — М.: Наука, 1987. — 340 с.
- Вернадский В.И.** Философские мысли натуралиста. — М.: Наука, 1988. — 520 с.
- Вернадский В.И.** Изучение явлений жизни и новая физика // Труды по биогеохимии и химии почв. — М.: Наука, 1992. — С. 173–195.
- Вернадский В.И.** Живое вещество и биосфера. — М.: Наука, 1994. — 672 с.
- Винберг Г.Г.** Скорость роста и интенсивность обмена у животных // Успехи соврем. биологии. — 1966. — № 6. — С. 274–293.
- Заварзин Г.А.** Смена парадигмы в биологии // Вестн. РАН. — 1995. — Т. 65, № 1. — С. 8–23.
- Заварзин Г.А.** Индивидуализм и системный анализ — два подхода к эволюции // Природа. — 1999. — № 1. — С. 23–34.
- Зайка В.Е.** Балансовая теория роста животных. — Киев: Наук. думка, 1985. — 192 с.
- Зайка В.Е.** Сравнительная продуктивность гидробионтов. — Киев: Наук. думка, 1983. — 208 с.
- Егоров А.Г.** Байкальский осетр // Рыбы и рыбное хозяйство в бассейне озера Байкал. — Иркутск: Кн. изд-во, 1958. — С. 101–129.
- Каменир Ю.Г.** Исследование структуры живого вещества водоемов на основе размерных спектров // Биологические науки. — 1987. — № 8. — С. 70–77.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.** Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. — М.: Наука, 1994. — 236 с.
- Кожов М.М.** Биология озера Байкал. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 315 с.
- Кожова О.М.** К биологии *Epischura baicalensis* Sars в оз. Байкал // Изв. БГНИИ при ИГУ. — 1956. — Т. 16, вып. 1–4. — С. 92–120.
- Кожова О.М., Бейм А.М.** Экологический мониторинг Байкала. — М.: Экология, 1993. — 352 с.
- Коряков Е.А.** Биология, ресурсы и хозяйственное значение голомянок // Исследования по ихтиофауне Байкала. — М.; Л.: Наука, 1964. — С. 3–75.
- Коряков Е.А.** Пелагические бычковые Байкала. — М.: Наука, 1972. — 156 с.
- Курдюмов С.П.** Законы эволюции и самоорганизации сложных систем // Наука, технология, вычислительный эксперимент. — М.: Наука, 1993. — С. 6–32.
- Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.** Синергетика — теория самоорганизации // Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. — М.: Наука, 1988. — С. 79–136.
- Левич А.П.** Метаболическое время естественных систем // Системные исследования. — М.: Наука, 1989. — С. 57–69.
- Левич А.П.** Знаем ли мы, что такое время // В мире науки (Scientific American). — 2003. — № 1. — С. 92–93.
- Лоскутов А.Ю.** Очарование хаоса // Устойчивое развитие. Наука и практика. — 2003. — № 2. — С. 13–21.
- Лях С.П.** Адаптация микроорганизмов к низким температурам. — М.: Наука, 1976. — 160 с.
- Мазепова Г.Ф.** Циклопы озера Байкал. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. — 144 с.
- Максимова Э.А., Максимов В.Н.** Микробиология вод Байкала. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1989. — 168 с.
- Мамонтов А.М.** Многолетняя изменчивость биологических показателей озерного сига Малого моря // Динамика продуцирования рыб Байкала. — Новосибирск, 1983. — С. 67–81.

- Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Пер. с англ. — М., 2002. — 656 с.
- Молчанов Ю.Б. Проблема времени в современной науке. — М.: Наука, 1990. — 136 с.
- Мусатов А.П. Пространственно-временная структура водных экосистем. — М.: Наука, 1994. — 118 с.
- Налимов В.В. Геометризация биологических представлений: вероятностная модель эволюции // Журн. общ. биологии. — 2001. — Т. 62, № 5. — С. 437–448.
- Одум Ю. Экология: В 2-х т. / Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.
- Пастухов В.Д. Нерпа Байкала. — Новосибирск: Наука, 1993. — 271 с.
- Пастухов В.Д., Стариков Г.В., Шалашов С.А. Возрастно-весовая характеристика голомянок и пелагических бычков, составляющих питание байкальской нерпы // Вопр. ихтиологии. — 1969. — Т. 9, вып. 6(59). — С. 1077–1085.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / Пер. с англ. — М.: Эдиториал УРСС, 2001а. — 312 с.
- Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / Пер. с англ. — М.: Эдиториал УРСС, 2001б. — 240 с.
- Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. — Л.: Наука, 1985. — 295 с.
- Смирнов В.В. Состояние популяции омуля в период запрета на промысел // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. — Новосибирск: Наука, 1977. — С. 127–140.
- Спиглазов Л.П., Куснер Ю.С., Сафарова В.А. Размерная структура планктонного микробоценоза в пелагиали Байкала // Докл. АН. — 1992. — Т. 323, № 2. — С. 358–361.
- Стариков Г.В. Динамика численности, биомассы и продукции голомянок // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. — Новосибирск: Наука, 1977. — С. 105–115.
- Таничев А.И. Морфология байкальских хризомонад *Spumella termo* (Muller) (Hanel) и *S. gregaria* sp. n. (Protozoa, Chrysomonadida) // Зоол. журн. — 1993. — Т. 72, вып. 1. — С. 23–29.
- Хасанов И.А. Время: природа, равномерность, измерение. — М.: Прогресс-традиция, 2001. — 303 с.
- Хайлов К.М. Проблема системной организованности в теоретической биологии // Журн. общ. биологии. — 1963. — Т. 24, № 5. — С. 324–333.
- Хайлов К.М. Некоторые условия количественного подхода к организации биологических систем // Системные исследования: ежегодник. — М.: Наука, 1969. — С. 239–250.
- Численко Л.Л. Структура фауны и флоры в связи с размерами организмов. — М.: Изд-во МГУ, 1981. — 208 с.
- Шмидт-Нильсен К. Размеры животных: почему они так важны? / Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 259 с.
- Эггерт М.Б. Планктические инфузории // Лимнология придельтовых пространств Байкала. — Л.: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. — С. 201–223.
- Gaedke U. A comparison of whole — community and ecosystem approaches (biomass size distributions, food web analysis, network analysis, simulation models) to study the structure, function and regulation of pelagic food webs // J. of Plankton Res. — 1995. — Vol. 17, N 6. — P. 1273–1305.
- Fenchel T. Intrinsic rate of natural increase: The relationships with body size // Oecologia. — 1974. — Vol. 3. — P. 317–326.
- Hemmingsen A.M. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution // Rep. Steno Mem. Hosp. (Copenhagen). — 1960. — Vol. 9. — P. 1–110.
- Sheldon R.W., Prakash A., Sutcliffe W.H. The size distribution of particles in the ocean // Limnol. and Oceanogr. — 1972. — Vol. 17, N 3. — P. 327–340.
- Spiglazov L.P. Self — Similar Statistical System of Biological Elements Represented by Dimensional Groups of Organisms Exemplified by Pelagial of Lake Baikal // Ancient Lakes: Speciation, Development in Time and Space, Natural History. Abstracts of the Third International Symposium (SIAL-3). — Novosibirsk: Nauka, 2002. — P. 178.