

УДК 574.6+576.2+577.4000.0

ИНВАРИАНТ И СТАДИИ СИММЕТРИИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОГО РОСТА ОРГАНИЗМОВ

С. В. ПЕРШИН

Высшее военно-морское инж. уч-ще, Санкт-Петербург

Получено 20.03.97 ◊ Пересмотрено 11.11.98

Работа является продолжением и развитием предыдущих исследований автора по системному анализу структурной организации количественных параметров объектов живой и неживой природы. Установлены инвариант и стадии симметрии структуры роста с возрастным увеличением линейных размеров и массы организмов, включая типичных гидробионтов.

Робота являє собою подовження та розвиток попередніх досліджень автора з системного аналізу структурної організації кількісних параметрів об'єктів живої та неживої природи. Встановлені інваріант та стадії симетрії структури росту з віковим збільшенням лінійних розмірів та маси організмів, в тому числі типових гідробіонтів.

The article is a prolongation and development of the previous of the author under the system analysis of structural organization of quantitative parameters of plants of alive and lifeless nature. There are installed an invariant and stages of a symmetry of a growth structure with age increase of linear sizes and mass of organism, including typical hydrobionts.

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих работах [5-7] автора впервые обнаружена закономерность проективного инварианта $W = 1.31$ структурной организации линейных размеров трехзвенных биомеханических систем тел и конечностей человека и животных различных сред обитания, систематического положения, уровня организма и масштаба размеров. В работе [8] выявлен такой же инвариант и три формы симметрии (асимметричная А, дисимметричная Д и симметричная С) структурной организации характерных параметров различных глобальных многозвенных ($n > 3$) природных систем: физических, химических, экологических и космической - планет солнечной системы.

Ниже конкретный системный анализ распространен на живые развивающиеся системы роста организмов, имея в виду, что процесс роста упорядоченный и монотонный. Принимается, что имеющиеся многочисленные таблицы равносрочных наблюдений за изменением длины L и массы M организмов, фиксированных через равномерные интервалы времени Δt являются системными. Параметры любого срока наблюдений составляют одно звено данной системы. При этом различные размерности исследуемых параметров не ограничивают общности анализа, поскольку он выполняется как безразмерный.

В этой связи заметим, что ввиду чрезвычайно разнообразия организмов временные интервалы Δt наблюдений за ростом встречаются весь-

ма различной продолжительности (минуты, часы, дни, недели, месяцы, годы). Однако существенно, что эти интервалы выбирают не произвольно, а в соответствии с биологическими особенностями подопытных организмов, в том числе с учетом темпов их жизни и возможностей выявления характерных сроков физиологических состояний (наступления половой зрелости, физической зрелости, прекращения роста и т. п.). Поэтому и в системном анализе автоматически учитываются биологические особенности организмов, поскольку исходные данные наблюдений используются непосредственно, без каких-либо изменений.

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОГО РОСТА ОРГАНИЗМОВ

Проблема роста организмов связана со многими теоретическими изысканиями в биологии и практически важными задачами растениеводства, животноводства, здравоохранения, промышленности и т. д. Количественная характеристика роста животных различного систематического положения необходима для расчета их жизненной потребности и продуктивности.

В литературе результаты наблюдений обычно обобщают путем установления математических аппроксимирующих зависимостей $L = f_1(1)$, $M = f_2(t)$. Выявлены "типы роста организмов", такие как параболический (он же степенной, в биологической литературе его часто называют аллометрический), экспоненциальный (показательной

функции), логистический (когда аппроксимирующие кривые имеют форму латинской буквы S). Уравнение разных функциональных кривых роста можно получить путем интегрирования единого вида дифференциального уравнения скорости роста организмов при различных предпосылках относительно его членов.

Например, дифференциальным уравнением в виде степенного одночлена

$$\frac{dx}{dt} = ax^b; \quad b = 0, \quad b = 1, \quad 0 < b < 1$$

при трех указанных частных значениях показателя степени b после интегрирования определяется соответственно: линейный рост, экспоненциальный и параболический разной степени. Здесь x - рост; линейный размер $x = L$ или масса $x = M$ организма, t - текущий возраст его, a и b - постоянные, их находят по экспериментальным данным.

Возможно представление дифференциального уравнения скорости роста организма в виде многочлена

$$\frac{dx}{dt} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots$$

Выбирая различное число членов этого уравнения, после интегрирования получаем уравнение аппроксимирующей кривой роста разной сложности. Разумеется, среди коэффициентов a_0, a_1, a_2 могут быть и отрицательные, и равные нулю.

Скорость линейного роста организма с постоянным приростом определяется как:

$$\frac{dx}{dt} = a_0, \quad x = x_0 + a_0t,$$

где $a_0 = \text{const}$ - неизменная скорость роста (тангенс угла наклона прямой), x_0 - начальное значение функции при $t = 0$.

Экспоненциальный рост организма при непрерывном процессе имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = a_1x, \quad x = x_0e^{a_1t}.$$

Логистический рост имеет вид кривой S-образной формы:

$$\frac{dx}{dt} = a_1x + a_2x^2, \quad x = \frac{a_1/a_2}{1 + be^{-a_1t}}.$$

Логистическая кривая может иметь другой вид, в том числе если она имеет верхнюю асимптоту x_∞ , например,

$$\frac{dx}{dt} = kx(x_\infty - x), \quad x = \frac{x_\infty}{1 + be^{-kx_\infty t}},$$

(где k - темп роста), при $x = 0.5x_\infty$ - точке перегиба кривой. Характерным свойством типичных логистических, S-образной формы кривых роста организмов является то, что скорость процесса роста dx/dt изменяется по экстремальной кривой: вначале она увеличивается, достигает максимума, после которого скорость роста уменьшается. Значению $dx/dt = 0$ кривой прироста отвечает точка перегиба самой логистической кривой роста $x(t)$ (рис. 1). Существенно, что справедливость такой аппроксимации подтверждается биологически на основе взаимозависимости роста и энергетического обмена [2,10].

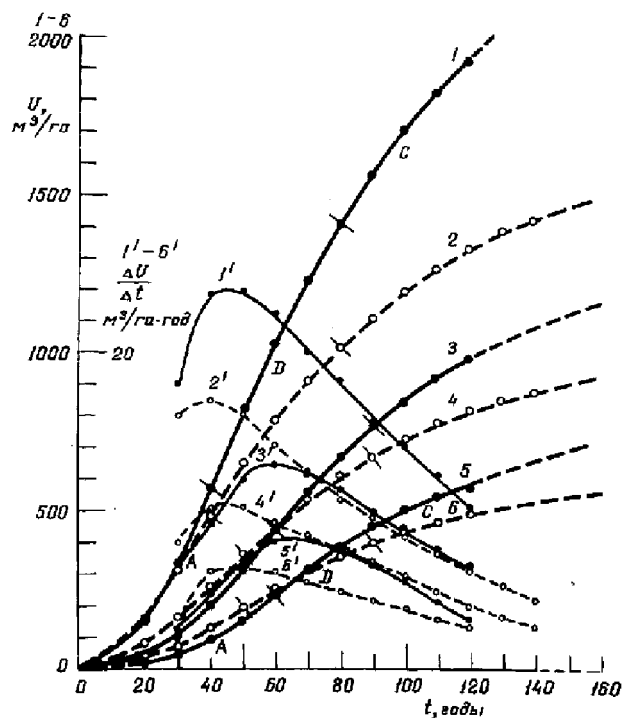


Рис. 1. Логистического типа асимптотические кривые (1–6) роста с возрастом t общего удельного запаса древесных насаждений V и соответствующие им экстремальные кривые (1' – 6') прироста $\Delta V/\Delta t$. Показана последовательная смена стадий симметрии структуры роста: А – симметричной, В – дисимметричной, С – симметричной. 1, 3, 5 – ель; 2, 4, 6, – сосна соответственно по бонитетам Ia, III, V [10].

В настоящее время логистические кривые роста широко применяются, они имеют и свою историю. Впервые эта форма кривой была применена в США Ферхульстом в 1838 году для изучения закона роста народонаселения страны [13], то есть в сущности в социологических исследованиях. Он же и назвал эту кривую логистической. В 20-ые годы текущего столетия логистические кривые широко применял Пирл [13, 14] и не только для изучения закономерностей роста населения

ряда стран, но и в более широком плане изучения роста организмов.

Анализ имеющихся данных наблюдений показывает, что процессы роста животных весьма разнообразны и не всегда аппроксимируются однозначно одной гладкой кривой роста. Рост многих организмов продолжается всю жизнь (большинства видов рыб), может быть асимптотический (водных млекопитающих, дельфинов и китов), или прекращается на сравнительно раннем этапе жизни (птиц). Наблюдаются сезонные изменения темпов роста, как и многократное прекращение такового на отдельных этапах жизни (рост в длину членистоногого палочника). Рост организма может достигать максимума к известному возрасту, после которого следует некоторое уменьшение размеров и массы организма в силу физиологических факторов старения, в том числе у млекопитающих и человека. Поэтому количественная характеристика роста иногда содержит два и более различных этапа роста (см. рис. 1), каждый из которых может быть более точно аппроксимирован своей функцией. Например, данные наблюдений начального, вогнутого участка логистической кривой роста иногда хорошо представляются отрезком экспоненты, а конечный, выпуклый участок возможной логистической кривой заменяется параболой. На этом разнообразном фоне вариантов типов роста организмов тем более представляет интерес единообразный обобщенный системный анализ структуры роста.

Данные по росту насаждений ели и сосны (в первоисточнике [10] по шести бопитетам) охватывают период с 20 до 120-140 лет с интервалом времени $\Delta t = 10$ лет. Этот интервал выбран из соображений сглаживания параметров неравномерного роста деревьев в условиях долговременно переменных климатических факторов. И если считать продолжительность жизни деревьев ели и сосны порядка 200-250 лет, наблюдаемых 11-12 десятилетних значений параметров оказалось достаточным для установления закономерности роста. Как видно, эта серия типичных логистических кривых роста с уже наступившей симметричной С стадией и отвечающих им экстремальных кривых прироста. Границы смены стадий симметрии роста А-Д-С, показанные на рис. 1 поперечными рисками, определены непосредственно при системной обработке табличных данных. Они наглядно подтверждаются взаимным соответствием между формой монотонных кривых роста и экстремальных кривых прироста, которые отмечались выше.

Существенно, что в монографии [10] разработан

энергетический подход для создания количественной теории нарастания биомассы лесных насаждений, этот рост определяется уравнением

$$U = U^* - (U^* - U^0)e^{B(t-t_0)},$$

где U - запас насаждений в момент времени t , U_0 - запас в некоторый начальный момент t , значения U^* и коэффициента B определяются с использованием таблиц ограниченного периода наблюдений роста насаждения. Проведенное уравнение позволило автору монографии выполнить экстраполяцию роста насаждений. Заметим, что в сущности данное уравнение – уравнение логистической асимптотической кривой, хотя в монографии [10] эта кривая не обозначена.

Типичный параболический рост организмов представлен выше на примерах рыб (рис. 2). В действительности рыбы зимой не растут и текущий рост их имеет вид ступенчатой линии. Однако принято рост рыб представлять в таблицах монотонно с интервалами времени в один год. Заметим также, что в использованных данных срок наблюдений 10-15 лет, тогда как рыбы некоторых видов живут до 40-60 лет. Поэтому подобные данные не всегда могут быть достаточны для уверенного определения типа роста рыб. Важно заметить, что для многих видов рыб, в том числе и перечисленных на рис. 2, симметричная стадия С роста в длину наступает уже на 6-ом году жизни. Одновременно замечаем, что по массе рыб эта стадия роста еще не наступила, что объяснимо различием в степени нелинейности обеих зависимостей. Показатели степени парабол роста рыб с возрастом по длине составляют 0.61-0.79, а по массе 2.2, то есть различаются в 3 раза, как это и должно быть по разнице в размерностях этих величин.

Следует отметить, что рост некоторых видов рыб, например леща и щуки, экспоненциального типа, а по таким видам как семга, форель, карп, сельдь имеются данные, позволяющие отнести их рост с возрастом к логистическому типу.

Основными источниками привлеченных нами табличных данных по росту линейных размеров и массы организмов послужили следующие: сводные труды И. И. Шмальгаузена [11] по многим видам организмов различного ранга, в том числе млекопитающих, коллективная монография по количественным аспектам роста организмов [2], сборник описаний промысловых рыб [9], классическая работа по росту человека [6], справочник по народонаселению мира [4] и исследования [13, 14], данные по росту древесных насаждений коренных пород

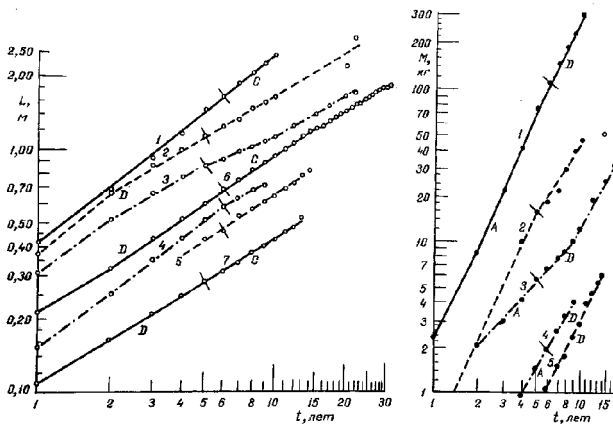


Рис. 2. Параболического типа рост с возрастом t в длину L и массы M относительно крупных рыб (логарифмические координаты), [9]. Показана смена стадий роста А-Д-С: 1 – тунец, 2 – белуга, 3 – осетр, 4 – судак, 5 – палтус, 6 – севрюга, 7 – лобан

ели и сосны [10]. Всего применен системный анализ к около ста системам количественного роста организмов по линейным размерам и массе, состоящих более чем из одной тысячи звеньев.

Приведем сокращенный список рассмотренных нами объектов роста организмов: растения - тыква, ель, сосна (по бонитетам); простейшие - дрожжевые клетки и бактерии разных видов; эмбрионы многоклеточных - перепелки, цыпленка, белой мыши, морской свинки, свиньи, прыткой ящерицы, человека; промысловые рыбы 21 видов - речные, озерные, морские, малых и больших размеров и масс; птицы трех видов; подопытные животные - мышь, крыса, морская свинка, кролик; домашние промысловые животные - овца, свинья, корова, лошадь; примат шимпанзе и человек в разном возрасте. Рассмотрен также рост народонаселения нескольких стран и всего мира за два последних столетия.

Как видно, исследованы достаточно разнообразные системы роста организмов. Естественно, материалы наблюдений различаются по экологии регионов, сезонам наблюдений, возрасту и половому различию организмов. Применяли как лабораторные, так и полевые методы наблюдений. Тем самым, системно освещен весьма сложный процесс количественного роста организмов, связанный с колебаниями внешних факторов среды и преобразованиями самих организмов: увеличением размеров и массы, дифференцированием органов и тканей, формообразованием.

Методика работы автора состояла в следующем. Каждая опубликованная таблица оригина-

ла n срочных наблюдений изменений роста линейных размеров или массы организма по равномерным интервалам времени рассматривалась как многозвенная система. В соответствии с общей теорией системы, многозвенную систему разбивали на $(n - 2)$ трехзвенных подсистем с абсолютными размерами S_1, S_2, S_3 , выполняя принятое нами правило последовательного выделения звеньев со взаимной увязкой их от первого до последнего. То есть подсистемы значений S_1, S_2, S_3 состояли из номеров звеньев: 1-2-3, 2-3-4, 3-4-5, ..., $(n - 2) - (n - 1) - n$. Тем самым параметры роста организмов данного срока наблюдений непосредственно сопоставимы с ближайшими предыдущим и последующим в каждой подсистеме $S_1 + S_2 + S_3 = S$. Все они обезразмеривались, относительные значения звеньев $\overline{S}_1, \overline{S}_2, \overline{S}_3$ определяли для каждой подсистемы, полагая

$$\overline{S}_1 = \frac{S_1}{S}, \quad \overline{S}_2 = \frac{S_2}{S}, \quad \overline{S}_3 = \frac{S_3}{S};$$

$$\overline{S}_1 + \overline{S}_2 + \overline{S}_3 = 1.$$

Затем, как для систем в предыдущих работах [7, 8], последовательно по всем $(n - 2)$ подсистемам определяли безразмерное проективное двойное отношение их звеньев

$$W = \frac{(S_1 + S_2)(S_2 + S_3)}{S_2(S_1 + S_2 + S_3)} = \frac{(\overline{S}_1 + \overline{S}_2)(\overline{S}_2 + \overline{S}_3)}{\overline{S}_2}.$$

Полученные результаты осредняли для системы в целом по звеньям $\overline{S}_1, \overline{S}_2, \overline{S}_3$ всех подсистем, а по их осредненным значениям определяли инвариантное значение W .

Так, среднее значение

$$(S_i) = \sum_1^{n-2} \frac{\overline{S}_i}{n-2}, \quad i = 1, 2, 3,$$

соответственно среднее

$$(W) = W [\overline{S}_1, \overline{S}_2, \overline{S}_3].$$

Вместе с этим определяли и тип роста организма, пользуясь линеаризацией функций кривых роста с построением линейных анаморфоз, имея в виду, что параболический рост представляется прямой линией в логарифмических координатах $(\log x, \log t)$, а экспоненциальный - в полулогарифмических $(\log x, t)$. Поэтому выборочно строили графики как в равномерных координатах, так и на логарифмической и полулогарифмической бумагах.

Напомним, что еще в работе [8] были введены в рассмотрение три формы симметрии структурной организации развитых природных систем:

асимметричная А, дисимметричная Д, симметричная С. В развивающихся системах количественного роста организмов параметры роста изменяются от рождения до конца жизни монотонно, хотя и неравномерно, вначале относительно быстрыми темпами, а затем все с меньшей скоростью. Этому процессу соответствует последовательная смена структур А-Д-С, и в данных случаях назовем их стадиями роста систем. Оказалось, что стадии роста не только отвечают физиологическим особенностям развития организмов, но средние численные значения их показателей сопоставимы с известными классическими соотношениями, которые приводят к такой же величине инварианта. Это обстоятельство отмечалось нами еще в работе [5].

Асимметричная А трехзвенная структура звеньев подсистем характеризуется различием их чисел и в среднем ассоциируется с последовательными членами экспонентной геометрической пропорции с знаменателем $q = e^{0.5}$ или чисел Фибоначчи с рекуррентной формулой по нумерации членов ряда $u_n = u_{n-2} + u_{n-1}$, а именно

$$W_A(1; e^{0.5}; e) \simeq W_A(3; 5; 8) \simeq W_A(0.19; 0.31; 0.5) \simeq 1.31.$$

Дисимметричная Д структура с менее резкими соотношениями звеньев в среднем соответствует членам экспонентной арифметической пропорции с разностью $r = 1/2(e - e^{0.5})$ и числам Пифагора 3, 4, 5. Действительно,

$$W_D \left[e^{0.5}; \frac{e^{0.5} + e}{2}; e \right] \simeq W_D(93; 4; 5) \simeq W_D(0.19; 0.31; 0.50) \simeq 1.31.$$

Симметричная трехзвенная структура роста, очевидна:

$$W_C(0.333; 0.333 = 1/3; 0.333) \simeq 1.33 \simeq 4/3.$$

Однако симметричная структура в системном анализе роста, по признакам сохранения значений $\bar{S}_2 = 1/3$ и $W = 4/3$ наступает ранее в трехзвенных подсистемах, а именно, когда $\bar{S}_1 = 0.29$, соответственно $\bar{S}_2 = 0.38$, так как $W_C(0.29; 0.33; 0.38) = 1.33$. Последние соотношения являются границей, разделяющей текущие значения параметров дисимметричной Д в симметричной С стадий роста.

В свою очередь, по признакам сохранения значений $\bar{S}_2 = 0.31 \div 0.33$ и $W = 1.31$, границей, отвечающей наступлению дисимметрической Д структуры можно считать средние из представленных

выше соотношений для А и Д стадий симметрии роста, то есть $\bar{S}_1 = (0.19 + 0.25)/2 = 0.22$, $\bar{S}_3 = (0.50 + 0.42)/2 = 0.46$, так как при этом также $W_D(0.22; 0.32; 0.46) = 1.31$.

Указанные соотношения подтверждены непосредственно при системной обработке табличных данных количественного роста каждого организма. Здесь не представляется возможным привести многочисленные данные и рассмотрим только некоторые характерные примеры и иллюстрации к ним.

Динамика роста с возрастом в последовательных трехзвенных подсистемах величины их среднего звена \bar{S}_2 и текущие изменения проективных двойных отношений W для лесных насаждений ели и сосны (применительно к рис. 1) показаны на рис. 3. Видно, что устойчивые значения $\bar{S}_2 = 1/3$ наступают раньше, чем инвариант $W = 4/3$, что и естественно, поскольку больше чем \bar{S}_2 флюктуируют значения \bar{S}_1 и \bar{S}_3 в подсистемах. Симметричная стадия С структуры роста рассмотренных насаждений наступает около 80 лет, то есть около одной трети возраста их активной жизни.

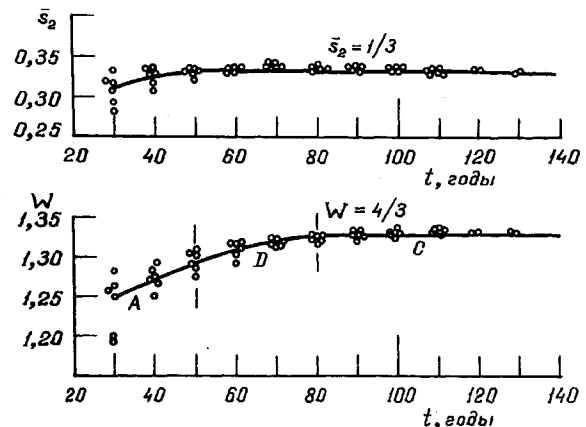


Рис. 3. Последовательные по трехзвенным подсистемам относительные значения среднего звена \bar{S}_2 и проективного двойного отношения W многозвенных систем роста общего удельного запаса древесных насаждений ели и сосны по рис. 1. Инвариантные значения $\bar{S}_2 = 1/3$ и $W = 4/3$

На рис. 4 приведены данные по всем рассмотренным нами видам рыб различной степени нелинейности роста (см. рис 2). Видно, что флюктуации значений проективных двойных отношений звеньев подсистем роста рыб по длине W_L значительно меньше, чем таковые по массе W_M . Однако еще в раннем возрасте 6-8 лет рыбы достигают устойчивых инвариантных значений $W_L = W_M = 4/3$.

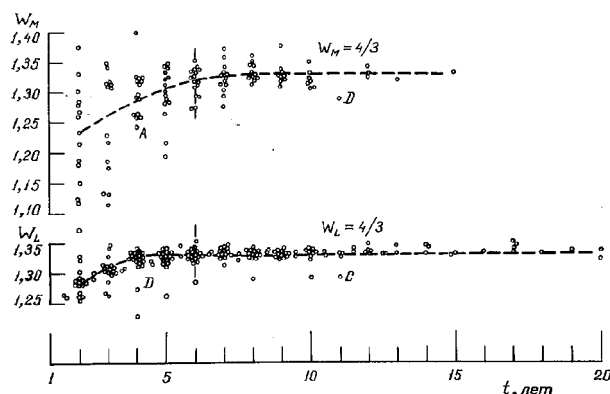


Рис. 4. Сводный график последовательного изменения структурной организации параболического и логического типов роста рыб с возрастом t , как по величине проективных двойных отношений трехзвенных подсистем по длине тела W_L и массе W_M особей, так и по смене стадий их роста А-Д-С. Инвариантные значения $W_L = W_M = 4/3$

К логистическому, S-образному типу относится рост с возрастом массы у птиц и млекопитающих животных. Интервалы времени наблюдений по ним, вследствие разнообразия организмов, весьма различные: дни, недели, месяцы, годы. И массы особей варьирует от десятков грамм до сотен килограмм. Тем не менее, по обработанным нами табличным данным [2, 11] все эти организмы также проходят последовательно три структурных стадии симметрии А-Д-С роста и устойчиво сохраняются инвариантные значения $\bar{S}_2 = 1/3$ и $W = 4/3$.

Наиболее сложные кривые роста человека построены нами по табличным данным [3] (рис. 5). Эмбриональный рост массы ребенка экспоненциального типа, двух стадий симметрии структуры А-Д, и в среднем до рождения ежемесячно определяется выражением $W(0.12; 0.26; 0.62) = 1.30$. В первые 12 месяцев после рождения (лактационный период) масса ребенка резко повышается в 3.3 раза, однако рост приобретает уже симметричную С структуру, с выражением $W_C(0.32; 0.33, 0.34) = 1.33 = 4/3$. Затем выделяются характерные участки роста: до 11-12 лет - начала полового созревания, до 23 лет - окончания интенсивного роста. В возрасте 30 лет мужчин и около 50 лет женщин наблюдается максимум роста, после каждого, вследствие старения организма, рост и масса человека несколько снижаются. Характерно, что весь постэмбриональный рост человека до 70 лет логистического типа и по структурной организации симметричный С, устойчиво сохраняются значения $\bar{S}_2 = 1/3$ и $W = 4/3$ в течение всей жизни.

Заметим, что уменьшения роста и массы чело-

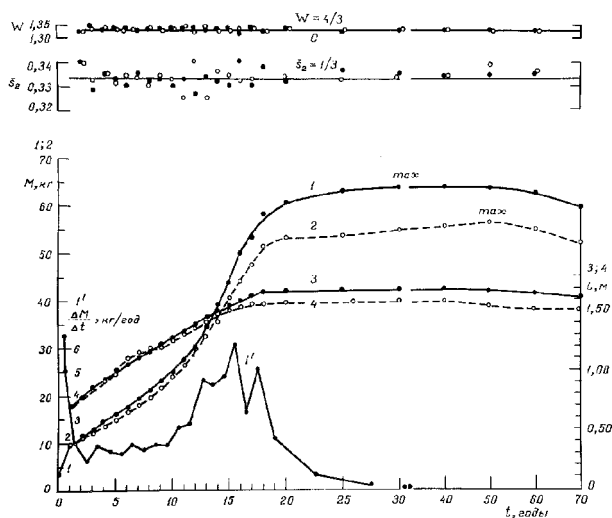


Рис. 5. Логистического типа кривые постэмбрионального роста человека. Масса тела 1 - мужчины, 2 - женщины; высота тела; 3 - мужчины, 4 - женщины. Экстремальная кривая I' - прирост массы тела мужчины. Инвариантные значения $\bar{S}_2 = 1/3$ и $W = 4/3$ имеют место всю жизнь человека (начиная с возраста 1 год)

века после максимума не изменяют значений \bar{S}_2 и W и потому, что в подсистемах звенья \bar{S}_1 и \bar{S}_3 зеркально симметричны, до максимума роста $\bar{S}_1 > \bar{S}_3$, а после $\bar{S}_1 < \bar{S}_3$ и $W(\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3) = W(\bar{S}_3, \bar{S}_2, \bar{S}_1)$. Отметим также, что по табличным данным [1] текущих изменений с возрастом t до 20 лет линейных размеров L тела, ноги, руки и среднего пальца руки человека нами показана синхронность их роста. Отдельные размерные кривые $L(t)$ тела и названных органов в их относительных координатах $L/L_{20} = f(t/t_{20})$ практически совпадают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя вышеизложенное, инвариантный аспект настоящего исследования можно формулировать так: установлена закономерность образования и сохранения инварианта структурной организации количественного роста организмов, заключающаяся в том, что в процессе онтогенетического развития организмов различных типов роста их равномерные по интервалам возраста нелинейные изменения размеров и массы последовательно образуют многозвенные системы с устойчивой трехзвенной структурой, которая определяется безразмерными значениями простого отношения среднего звена $\bar{S}_2 = 1/3$ и инварианта проективного двойного отношения звеньев $W(\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3) = 4/3$, обусловленных монотон-

ным изменением параметров систем и спонтанным преобразованием стадий структурной симметрии.

Концепция и алгоритм системного исследования автора, частично изложенные ранее в [7, 8] и в данной статье, могут быть использованы для анализа структурной организации количественных параметров самых разнообразных сформировавшихся или еще развивающихся систем, для выявления наличия и последовательной смены стадий симметрии их структуры, для контроля экстраполяции имеющихся данных и системного прогнозирования в различных областях знания и практической деятельности.

1. Бунак В. В. Изменения относительных длин сегментов скелета конечностей человека в период роста // Изв. Акад. пед. наук РСФСР.– 1957.– 84.– С. 13–31.
2. Количественные аспекты роста организмов. Инст. биологии развития АН СССР.– М.: Наука, 1975.– 292 с.
3. Лене Е., Бине Л. Рост. Физиологический очерк.– М.: Изд. Наркомздрава РСФСР, 1928.– 52 с.
4. Народонаселение стран мира. Справочник.– М.: Финансы и статистика, 1984.– 447 с.
5. Першин С. В. Закономерность взаимосвязи функциональных и морфологических свойств в онтофилогенезе организмов // Докл. АН СССР.– 1983.– 271, N 3.– С. 746–749.
6. Першин С. В. Закономерность инвариантной структурной организации природных систем // Межд. конфер. по проблемам моделирования в бионике "Биомод 92". Тезисы докладов.– Санкт-Петербург, 1992.– Р. 88–86.
7. Першин С. В. Закономерность инвариантной структурной организации трехзвенных биосистем тел и конечностей животных и человека // Бионика.– 1993.– 26.– С. 104–107.
8. Першин С. В. Инвариант и симметрия структурной организации многозвенных пространственно-временных систем живой и неживой природы // Бионика.– 1998.– 28.– С. 136–143.
9. Промысловые рыбы СССР. Описания рыб.– М.: Пищепромиздат, 1949.– 787 с.
10. Хильми Г. Ф. Основы физики биосферы.– Л.: Гидрометеиздат, 1966.– 300 с.
11. Шмальгаузен И. И. Рост и дифференцировка.– Киев: Наукова думка, 1966.– 200 с.
12. Ohsumi S., Nishiwaki M., Hibia T. Growth of Fin Whale in the Northern Pacific // Sci/Rep. Whales Res. Inst. -Tokio.– 1958.– N 13.– С. 97–133.
13. Pearl R. The biology of population growth.– London: Willians and Norgite, 1926.– 260 p.
14. Pearl R., Reed L. Skew – Growth curves // PNAS.– 1925.– 11, N 1.– С. 16–22.