

Роль размерно-весовых зависимостей в мониторинге и оптимизации содержания рыб (опыт Приморского океанариума)

Артем Петрович Степанков

Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация
E-mail: fossa7@mail.ru

Получена 3 февраля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. В настоящей работе выполнены очистка и анализ эмпирических данных по стандартной длине и массе рыб, полученных в условиях замкнутых систем, и реализована процедура объединения видов в группы со сходными размерно-весовыми зависимостями «длина–масса». На основе попарной количественной оценки сходства индивидуальных регрессионных моделей сформировано 14 устойчивых групп, включающих от 2 до 7 видов. Для каждой группы построены обобщённые размерно-весовые зависимости на основе объединённых наблюдений. Показано, что полученные групповые кривые характеризуются высокой степенью перекрытия индивидуальных регрессий и отражают специфику условий содержания в Приморском океанариуме. Данные зависимости позволяют сократить число используемых рабочих формул и обеспечивают устойчивые оценки массы в широком диапазоне размеров, что повышает точность расчёта биомассы и практическую применимость моделей при нормировании кормления и оценке биомассы.

Ключевые слова: размерно-весовая зависимость, длина–масса, биомасса, оценка массы, океанариум, групповые регрессии, нормирование кормления.

The role of length–weight relationships in monitoring and optimizing fish maintenance: insights from the Primorsky Aquarium

Artem P. Stepankov

Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690017, Russian Federation
E-mail: fossa7@mail.ru

Received February 3, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. In this study, empirical data on standard length and body weight of fish maintained in closed recirculating systems were cleaned and analyzed. Species with similar length–weight relationships were grouped through the protocol specifically developed for the Primorsky Aquarium facilities. Based on pairwise quantitative assessment of similarity among individual regression models, 14 stable groups were formed, each comprising 2 to 7 species. For each group, generalized length–weight relationships were constructed using pooled observations. The resulting group curves exhibited a high degree of overlap with individual regressions and reflected specific maintenance conditions at the Primorsky Aquarium. The derived relationships reduce the number of operational formulas and provide robust body weight estimates across a wide size range, improving biomass calculation accuracy and practical applicability for establishing feeding standards, as well as for biomass monitoring.

Keywords: length–weight relationship, length–weight, biomass, biomass estimation, aquarium, group regressions, feeding standards.

Введение

Регулярный мониторинг длины и массы рыб в экспозиционных системах является ключевым инструментом оценки роста, состояния и биомассы рыб. В условиях океанариума прямое взвешивание особей зачастую затруднено или невозможно, что делает размерно-весовые зависимости основным практическим методом оценки массы на основе линейных измерений (Froese 2006; Huntingford et al. 2006).

Корректная оценка биомассы имеет принципиальное значение для расчёта рационов, так как нормы кормления в практике содержания рыб, как правило, задаются в процентах от массы тела и варьируют в зависимости от трофической группы, физиологического состояния и условий содержания (Jobling 2011; Tacon and Cowey 1985). Использование формул, не адаптированных к конкретным условиям и популяциям, может приводить к систематическим ошибкам в оценке массы и, как следствие, к перекарму или хроническому недокарму рыб (Masó et al. 2025; Roh et al. 2020; Tosin et al. 2022; Wood et al. 2019).

В условиях природных популяций сезонные колебания температуры и доступности корма являются важными факторами, влияющими на темпы роста и соотношение длины и массы у рыб (Jobling 1994). В условиях замкнутых рециркуляционных систем сезонные колебания факторов среды выражены слабо, режим кормления относительно стабилен, а вариабельность массы при заданной длине может быть в большей степени обусловлена межвидовой конкуренцией, особенностями доступа к корму и различиями в индивидуальном росте. В таких условиях линии регрессии, как правило, характеризуются высокой устойчивостью, однако индивидуальные размерно-весовые зависимости отдельных видов часто основываются на ограниченных выборках и узком диапазоне размеров.

В этой связи объединение видов со сходными размерно-весовыми зависимостями позволяет формировать прикладные обобщённые рабочие кривые, охватывающие более широкий диапазон длин и обеспечивающие более устойчивые оценки массы. Такой подход фактически заменяет экстраполяцию индивидуальных зависимостей на интерполяцию по обобщённой форме кривой, подтверждённой данными нескольких видов со сходными размерно-весовыми зависимостями. Дополнительным практическим преимуществом является сокращение числа используемых рабочих формул, что упрощает интеграцию размерно-весовых зависимостей в системы учёта и расчёта рационов и снижает риск ошибок, связанных с выбором и применением большого количества индивидуальных моделей. При этом индивидуальные видовые зависимости остаются предпочтительными при наличии достаточного объёма данных и широкого диапазона размеров, а групповые модели рассматриваются как рабочий компромисс для видов с ограниченными выборками и для прикладных расчётов, требующих непрерывных оценок массы.

Целью настоящей работы является разработка и апробация прикладного алгоритмического подхода к объединению, очистке и использованию эмпирических размерно-весовых зависимостей рыб, полученных в условиях океанариума, для повышения точности оценки биомассы и формирования обоснованной базы для расчёта кормовых рационов и долгосрочного мониторинга длины и массы рыб.

Материалы и методы

Данные по длине и массе рыб получены в ходе плановых измерений в процессе содержания и учёта в экспозиционных системах океанариума. Для каждого наблюдения учитывались значения стандартной длины (см) и массы тела (г). В анализ включались только наблюдения с положительными и конечными значениями обоих параметров. Под стандартной длиной (SL) в настоящей работе понимается используемая в системе учёта линейная длина тела, измеряемая до основания хвостового плавника; данный показатель применяется последовательно во всех расчётах. Данные хранились и предварительно обрабатывались в системе управления базами данных MariaDB. Статистический анализ, построение размерно-весовых регрессий

и кластеризация моделей выполнялись в среде R (R Core Team) с использованием пакетов tidyverse, broom, igraph и базовых средств линейного моделирования. На этапе предварительной очистки из набора данных исключались записи с некорректными значениями (отрицательные, нулевые, отсутствующие или нечисловые). Для каждого вида рыб применялись только данные, прошедшие процедуру очистки и верификации.

Дополнительно проводился контроль репрезентативности распределения наблюдений по диапазону стандартной длины с целью исключения выборок, охватывающих лишь узкий фрагмент потенциального диапазона размеров. Для анализа использовался интервал от минимально допустимой стандартной длины $L_{min} = 3$ см до максимально возможной длины вида (SL_{max}). Внутри данного интервала рассчитывались расстояния между: L_{min} и первой эмпирической точкой; всеми последовательными эмпирическими наблюдениями; последней эмпирической точкой и SL_{max} . Максимально возможная стандартная длина вида (SL_{max}) определялась на основе справочных данных (FishBase 2026) либо, в случаях явного несоответствия указанных значений многолетним наблюдениям в условиях океанариума, на основе эмпирических данных содержания. Корректировка справочных значений выполнялась для видов, у которых максимальные размеры, указанные для природных популяций, существенно превышали размеры, достижимые в экспозиционных системах в силу особенностей содержания, плотности посадки и целей формирования коллекции. В таких случаях SL_{max} отражала максимально зарегистрированные размеры особей в условиях океанариума и использовалась исключительно как операционный параметр для оценки полноты диапазона размеров, а не как биологический предел роста вида. Максимальный разрыв G_{max} нормировался на полную длину интервала:

$$R = \frac{G_{max}}{L_{max} - L_{min}}$$

Если максимальный относительный разрыв превышал 45% полного диапазона ($R > 0,45$), выборка по данному виду исключалась из дальнейшего анализа как недостаточно репрезентативная по диапазону размеров. Данный фильтр позволял исключить случаи, при которых данные покрывали только начальные, конечные либо фрагментарные участки возможного диапазона размеров, что могло приводить к нестабильным и биологически некорректным регрессионным оценкам.

Для каждого вида, прошедшего этапы очистки, строилась индивидуальная размерно-весовая регрессия вида:

$$W = a \times L^b,$$

где W – масса тела, L – стандартная длина, a и b – параметры модели. Оценка параметров выполнялась в логарифмическом пространстве методом наименьших квадратов:

$$\log(W) = \log(a) + b \times \log(L).$$

Для каждого вида сохранялись: число наблюдений, минимальная и максимальная стандартная длина в выборке, максимально возможная длина вида (L_{max}), параметры a и b .

Модели с неустойчивыми или нечисловыми оценками параметров исключались из дальнейшего анализа. Для выявления групп видов со сходной формой размерно-весовой зависимости выполнялась попарная количественная оценка сходства индивидуальных регрессий. Для каждой пары моделей рассчитывались предсказанные

массы тела на равномерной сетке значений стандартной длины в диапазоне от 1 см до минимального из двух значений максимально возможной длины (SL_{max}):

$$SL_{max}^{(i,j)} = \min(SL_{max,i}, SL_{max,j}),$$

где $SL_{max,i}$ и $SL_{max,j}$ – максимально возможные длины для рассматриваемых видов i и j . Массы тела прогнозировались по степенной модели:

$$W_1(L) = a_1 L^{b_1}, W_2(L) = a_2 L^{b_2}.$$

Для каждой длины L рассчитывалось относительное расхождение массы двух видов $D(L)$, определяемое как отношение абсолютной разницы прогнозируемых масс к их среднему значению:

$$D(L) = \frac{|W_1(L) - W_2(L)|}{(W_1(L) + W_2(L))/2}.$$

Такая мера позволяет оценивать симметричное различие кривых размерно-весовой зависимости между видами независимо от того, какая модель выбрана первой. На основе распределения $D(L)$ рассчитывались следующие интегральные показатели: среднеквадратичное относительное расхождение (RMS) – усреднённая мера различия кривых по всему диапазону длины; отношение роста – показатель, отражающий различие форм кривых на больших размерах; длина L_{worst} , при которой наблюдается наибольшее расхождение – локализация наибольшей диспропорции между кривыми.

На основе этих показателей строилась матрица попарного сходства, которая использовалась для формирования неориентированного графа, где вершины соответствовали видам, а рёбра – парам моделей, удовлетворяющим критериям сходства. Компоненты связности графа интерпретировались как группы видов со статистически сходной формой размерно-весовой зависимости. Для окончательного объединения видов в группы применялись следующие критерии: минимальное количество наблюдений на вид – 10; максимальное среднеквадратичное относительное расхождение (RMS) – 10%; максимальное отношение размеров – 1.5. Выбранные пороговые значения носили операциональный характер и определялись эмпирически на основе предварительного анализа распределения различий между моделями и визуальной оценкой биологической сопоставимости кривых. Указанные значения обеспечивали компромисс между сохранением внутригрупповой однородности формы зависимостей и формированием статистически устойчивых групп достаточного объёма.

Объединение видов со сходной формой размерно-весовых зависимостей применялось для формирования обобщённых регрессионных моделей, пригодных для оценки массы в диапазонах размеров, недостаточно представленных в данных отдельных видов. Параметры групповой регрессии a и b оценивались непосредственно по объединённым наблюдениям всех видов, входящих в группу, и не являлись средними значениями индивидуальных параметров отдельных видов.

Принципиальное отличие используемого подхода от усреднения параметров отдельных видов схематически показано на рисунке 1. Групповая регрессия строилась непосредственно по объединённым наблюдениям с применением процедуры взвешивания и не являлась результатом усреднения индивидуальных параметров. Это обеспечило устойчивость аппроксимации в области максимальных значений. Весовые коэффициенты определялись на основе максимальной стандартной длины видов (SL_{max}), входящих в группу. В качестве весового фактора использовалась кубическая функция максимальной длины (L_{max}^3), нормированная внутри группы. Такой

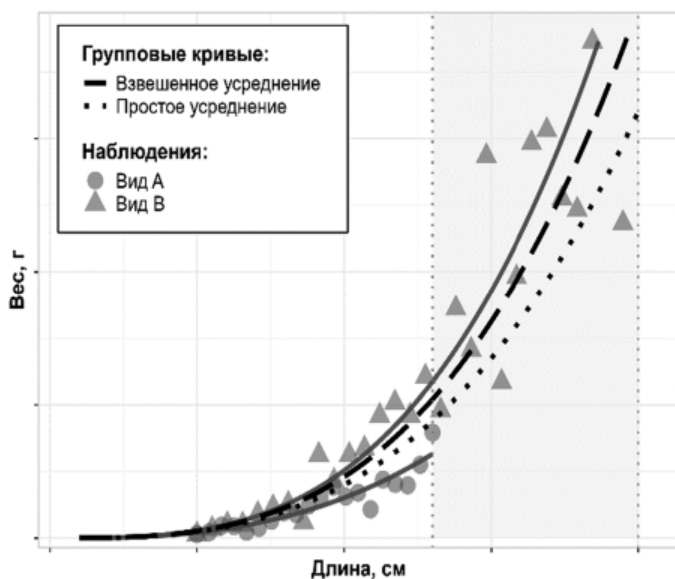


Рис. 1. Схематическая иллюстрация различий между усреднением параметров индивидуальных регрессий и построением групповой размерно-весовой зависимости по объединённым данным со взвешиванием.

Fig. 1. Schematic illustration of the differences between averaging parameters of individual regressions and constructing a group length–weight relationship at a group level using weighted pooled data.

выбор отражает аллометрический характер размерно-весовой зависимости у рыб ($W = a \cdot L^b$, где $b \approx 3$) и позволяет учитывать вклад каждого вида в формирование общего диапазона биомасс. Это предотвращало систематическое смещение модели в сторону мелких форм при численном доминировании коротких размерных рядов и обеспечивало корректное описание, как области малых размеров, так и поведения кривой вблизи максимальных длин.

Интерактивная реализация используемого алгоритма доступна по адресу: <https://fossa7.shinyapps.io/wlshiny>.

Результаты

В результате анализа 48 индивидуальных размерно-весовых зависимостей рыб, полученных в условиях океанариума, была выполнена процедура объединения видов в группы со статистически сходной формой кривых «длина–масса». На основании попарной оценки сходства регрессионных моделей и последующего анализа компонент связности графа было сформировано 14 устойчивых групп, включающих от 2 до 7 видов в каждой. Индивидуальные размерно-весовые зависимости видов, сгруппированных по сходству формы кривых, представлены на рисунке 2.

Каждая панель соответствует одной группе. Критерии включения видов в группы обеспечивали сходство прогнозируемых значений массы в диапазоне перекрывающихся длин, что делало акцент на форме зависимости, а не на численных значениях отдельных регрессионных коэффициентов.

Полученные групповые кривые представляли собой самостоятельные регрессионные модели и не являлись результатом усреднения индивидуальных коэффициентов

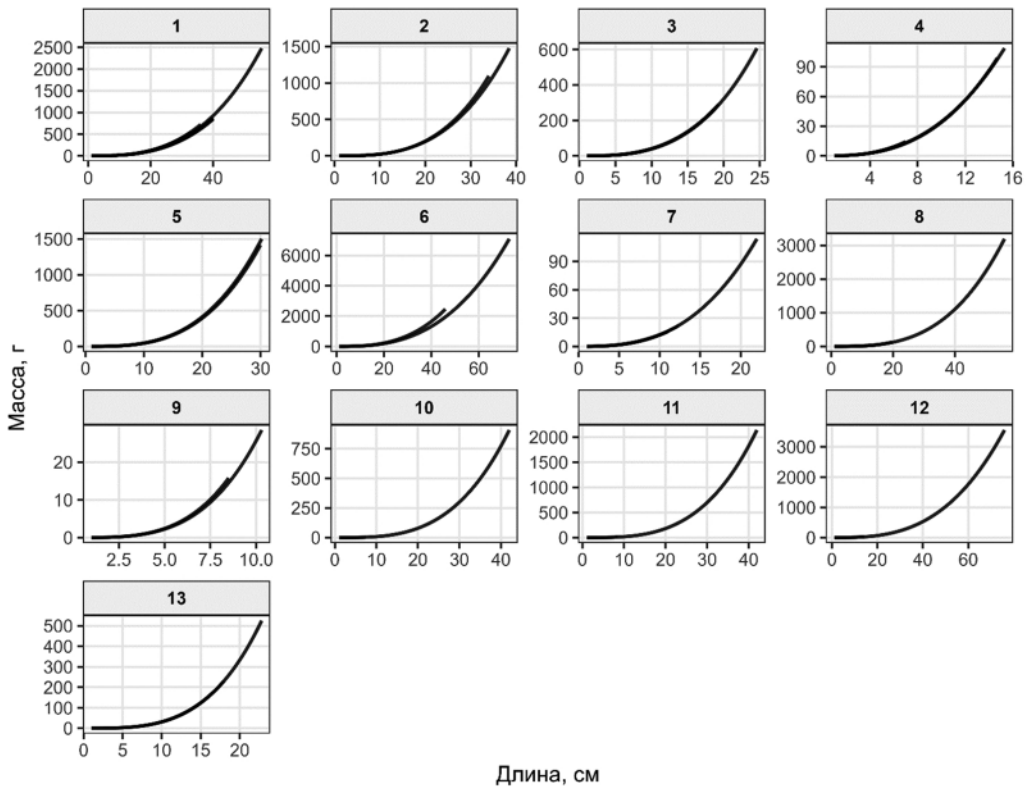


Рис. 2. Индивидуальные размерно-весовые зависимости видов, сгруппированных по сходству формы кривых «длина–масса». Каждая панель соответствует одной группе. Линии отражают индивидуальные регрессионные модели видов в пределах изученного диапазона стандартных длин без экстраполяции за его пределы.

Fig. 2. Individual length–weight relationships of species grouped by similarity as length–weight curves. Each panel corresponds to one group. Lines represent individual species regression models within the observed range of standard lengths, without extrapolation beyond this range.

а и b (рис. 2). Характеристика групп приведена в таблице. Диапазоны стандартных длин внутри групп охватывали как мелкие, так и крупные виды (минимальные значения от 1.6 до 8.4 см; максимальные промеры до 93.5 см), что демонстрирует применимость метода к широкому спектру таксонов и размерных классов. Регрессионные кривые строились исключительно для фактически зафиксированных диапазонов стандартных длин. Это позволило избежать необоснованной экстраполяции моделей за пределы имеющихся эмпирических данных.

Обсуждение

Полученные групповые зависимости отражают специфику условий содержания рыб в океанариуме, что согласуется с данными литературы о возможных отличиях размерно-весовых зависимостей в условиях неволи и подчёркивает необходимость использования адаптированных, эмпирически полученных зависимостей (Dias et al. 2014; Gumanao et al. 2016; Kamikawa et al. 2015).

Вариабельность массы при заданной длине, обусловленная различиями в режиме кормления, внутригрупповой конкуренцией и индивидуальными особенностями роста, уже учитывается на этапе формирования выборки и построения регрессионной модели. Применяемые процедуры очистки данных и допустимый уровень

Таблица. Характеристика сформированных групп видов, включая количество отобранных рыб (n), параметры LWR для видов (a_{species} и b_{species}), минимальную и максимальную длину (L_{min} и L_{max}), минимальный и максимальный наблюдаемый вес (W_{min} и W_{max}), максимальный размер вида (SL_{max}), номер группы (id_{gr}), количество видов в группе (n_{gr}), параметры LWR для групп (a_{group} и b_{group}).

Table. Characteristics of the formed species groups, including the number of sampled fish (n), LWR parameters for species (a_{species} and b_{species}), minimum and maximum length (L_{min} and L_{max}), minimum and maximum observed weight (W_{min} and W_{max}), maximum species size (SL_{max}), group ID (id_{gr}), number of species in each group (n_{gr}), and LWR parameters for groups (a_{group} and b_{group}).

№	Species	n	a_{species}	b_{species}	L_{min} (cm)	L_{max} (cm)	W_{min} (g)	W_{max} (g)	SL_{max}	id_{gr}	n_{gr}	a_{group}	b_{group}
1	<i>Blepias cirrhosus</i>	59	0.017052	2.901	4	15.2	1.1	43.3	20				
2	<i>Brachymystax lenok</i>	13	0.013944	3.01	9.8	55.5	11.5	2300	70				
3	<i>Hemibarbus labeo</i>	39	0.015279	2.961	8.5	40	10.3	828	67				
4	<i>Hexagrammos octogrammus</i>	9	0.017592	2.964	8.6	36	10.8	770	42	1	7	0.015335	2.975
5	<i>Romanogobio tenuicorpus</i>	17	0.022784	2.836	5.2	16.2	2.3	75	26				
6	<i>Tachysurus sinensis</i>	41	0.017441	2.962	3.5	33	0.7	564	34				
7	<i>Tribolodon brandtii</i>	33	0.016511	2.949	8.4	40	9	762	50				
8	<i>Ancistrus dolichopterus</i>	43	0.015395	3.185	3.5	10	0.8	22.6	15				
9	<i>Balantiocheilos melanopterus</i>	22	0.014374	3.188	5	34	2.2	985	35				
10	<i>Bero elegans</i>	27	0.01519	3.162	3.8	13.4	1	59.5	20	2	4	0.016824	3.129
11	<i>Myoxocephalus brandtii</i>	14	0.018624	3.09	4.4	38.5	1.7	1074	42				
12	<i>Chromis viridis</i>	55	0.024847	3.185	2.6	8.6	0.5	22	10				
13	<i>Osteogaster aenea</i>	22	0.030164	3.065	2.6	6.1	0.6	7.8	8				
14	<i>Cyphotilapia frontosa</i>	40	0.032097	3.075	4.8	24.6	4.3	590	33	3	4	0.035616	3.041
15	<i>Monodactylus argenteus</i>	95	0.043238	2.977	2.7	19.3	0.8	263.1	27				
16	<i>Labidochromis caeruleus</i>	36	0.056311	2.78	6.5	14.7	10.7	113	15				
17	<i>Melanochromis auratus</i>	19	0.069274	2.698	7.7	15.3	14.9	113	16				
18	<i>Pterapogon kauderni</i>	40	0.056477	2.803	2.1	6.9	0.4	12.1	8	4	4	0.06263	2.743
19	<i>Sphaeramia nematoptera</i>	17	0.059601	2.819	4.5	7	4.4	15	8				

Окончание табл.

№	Species	n	a _{species}	b _{species}	L _{min} (cm)	L _{max} (cm)	W _{min} (g)	W _{max} (g)	SI _{max}	id _{gr}	n _{gr}	a _{group}	b _{group}
20	<i>Amphilophus citrinellus</i>	64	0.030336	3.161	13.9	30	116	1234	33				
21	<i>Amphilophus trimaculatus</i>	69	0.034079	3.138	2	30.2	0.3	1253	37	5	3	0.032494	3.148
22	<i>Symphysodon aequifasciatus</i>	446	0.032006	3.156	1.5	14.5	0.1	172	16				
23	<i>Gnathanodon speciosus</i>	37	0.042272	2.804	24	73	341	7327	120				
24	<i>Phenacogrammus interruptus</i>	33	0.043901	2.821	4.8	7.5	3.8	14.7	8	6	3	0.041674	2.817
25	<i>Sebastes schlegelii</i>	57	0.039017	2.886	6.8	46	8.1	2620	65				
26	<i>Konosirus punctatus</i>	78	0.018115	2.83	7	22	4.7	98.7	32				
27	<i>Phoxinus tumensis</i>	15	0.025014	2.699	4.1	12.3	1.2	26.2	14	7	3	0.018796	2.815
28	<i>Pseudorasbora parva</i>	66	0.023177	2.717	3.2	11	0.6	19	12				
29	<i>Periophthalmus barbarus</i>	24	0.009608	3.168	3.7	14.3	0.7	46	15				
30	<i>Rhynchoypris lagowskii</i>	40	0.007538	3.262	2.4	19.8	0.2	149	24	8	3	0.009866	3.154
31	<i>Pleurogrammus azonus</i>	71	0.010024	3.148	16.8	56	73.2	3165	62				
32	<i>Asyanax mexicanus</i>	11	0.008227	3.533	6	8.5	4.3	18.6	12				
33	<i>Rhodeus sericeus</i>	187	0.008003	3.507	3	10.3	0.3	29.8	11	9	2	0.008129	3.522
34	<i>Chirolophis japonicus</i>	12	0.004163	3.289	13.4	42	20.1	1069	55				
35	<i>Pungitius sinensis</i>	117	0.00485	3.235	2.9	7.5	0.1	2.5	9	10	2	0.004165	3.289
36	<i>Cichla piquiti</i>	8	0.00841	3.33	18.5	42	128.5	2200	48				
37	<i>Trichopodus leerii</i>	27	0.007232	3.392	4.7	8.5	1.2	10.3	12	11	2	0.00839	3.331
38	<i>Engraulis japonicus</i>	52	0.012217	2.86	7.8	14.2	4.5	25.4	18				
39	<i>Silurus asotus</i>	12	0.009224	2.97	4.2	76	0.8	4600	130	12	2	0.009231	2.969
40	<i>Labeotropheus fuelleborni</i>	132	0.013149	3.381	5.5	18	3.4	233.6	30				
41	<i>Sargocentron rubrum</i>	7	0.01039	3.464	10	22.8	34	536.9	32	13	2	0.011599	3.425

отклонений обеспечивают включение в модель естественного диапазона изменчивости, сопоставимого с вариациями, наблюдаемыми в природных популяциях. Существенные отклонения от ожидаемых значений массы, выходящие за пределы этой вариабельности, могут свидетельствовать об изменении условий содержания и требуют либо корректировки параметров модели, либо пересмотра режима содержания. Таким образом, используемая модель описывает совокупный результат действия факторов среды, а не отдельные механизмы роста.

Для ряда групп различия между полученными и опубликованными зависимостями могут приводить к систематическим смещениям оценок массы при заданной длине при использовании формул, приведённых в литературных источниках. Такие смещения согласуются с представлениями о формировании «аквариумного» фенотипа и изменении энергетического баланса в условиях неволи (Huntingford et al. 2006).

Визуальный и количественный анализ индивидуальных размерно-весовых регрессий показал высокую степень их перекрытия внутри каждой группы, что подтверждает сходство формы кривых в рабочем диапазоне длин и обоснованность использования единой групповой зависимости. Это имеет прямое прикладное значение для расчёта биомассы экспозиционных групп рыб. В условиях океанариума использование «универсальных» формул без адаптации к конкретным популяциям и условиям содержания может приводить к систематическим смещениям, связанным с особенностями «аквариумного» фенотипа, режимами кормления, плотностью посадки и гидрохимическими параметрами. Выявленные различия между группами и расхождения между опубликованными и эмпирически полученными зависимостями указывают на необходимость использования адаптированных размерно-весовых моделей для повышения точности оценки массы.

Несмотря на то, что концепция размерной обусловленности биологических параметров и использование аллометрических зависимостей широко применялись в продукционной гидробиологии и биоэнергетических исследованиях водных организмов, включая работы отечественных авторов (Винберг 1956; Алимов 2000; Алимов и др. 2013), основной акцент в этих трудах делался на фундаментальных экологических закономерностях и оценке продукции сообществ. В отличие от них представленный подход ориентирован на прикладную задачу формирования устойчивых рабочих размерно-весовых моделей для условий замкнутых экспозиционных систем.

Объединение видов со сходной формой размерно-весовых зависимостей следует рассматривать как прикладной инструмент повышения устойчивости моделей в условиях ограниченных данных. Для многих видов объём наблюдений и диапазон размеров недостаточны, что приводит к неопределённости параметров или необходимости экстраполяции. Использование обобщённых групповых зависимостей позволяет расширить рабочий диапазон длин и обеспечить более стабильную оценку массы без нивелирования видовых различий.

Практическая значимость данного подхода заключается в возможности интеграции адаптированных размерно-весовых формул в системы учёта и управления, включая базы данных, используемые для расчёта рационов. Поскольку нормы кормления для различных трофических групп (хищные, всеядные, растительноядные виды) традиционно выражаются в процентах от массы тела, корректная оценка массы становится ключевым элементом управления кормлением и профилактики, как перекорма, так и хронического недокорма.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам службы формирования экспозиций и учета гидробионтов за содействие в ведении и сопровождении системы учета гидробионтов. Работа частично выполнена с использованием оборудования и инфраструктуры ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Литература (References)

- Алимов А. Ф.** 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб: Наука. 147 с. (Alimov A. F. 2000. Elements of the theory of functioning of aquatic ecosystems. Saint Petersburg: Nauka, 147 pp. [In Russian].)
- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М.** 2013. Продукционная гидробиология. – СПб: Наука. 342 с. (Alimov A. F., Bogatov V. V., Golubkov S. M. 2013. Production Hydrobiology. Saint Petersburg: Nauka, 342 pp. [In Russian].)
- Винберг Г. Г.** 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. – Минск: Изд-во Белорусского государственного университета. 253 с. (Vinberg G. G. 1956. Rate of metabolism and food requirements of fishes. Minsk: Izdatel'stvo Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, 253 pp. [In Russian].)
- Dias J., Fernandez W., dos Santos Schmidt T. C.** 2014. Length weight relationship of 73 fish species caught in the southeastern inner continental shelf region of Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42: 127–136. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue1-fulltext-10>
- FishBase.** 2026. <https://www.fishbase.se/> (accessed on 2 January 2026) <https://doi.org/10.3390/ani10091499>
- Froese R.** 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationship: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Gumanao G., Cardoza M. M., Mueller B., Bos A.** 2016. Length–weight and length–length relationships of 139 Indo-Pacific fish species (Teleostei) from the Davao Gulf, Philippines. *Journal of Applied Ichthyology* 32: 377–385. <https://doi.org/10.1111/jai.12993>
- Huntingford F. A., Adams C., Braithwaite V. A., Kadri S., Pottinger T. G., Sandøe P., Turnbull J. F.** 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* 68: 332–372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>
- Jobling M.** 1994. Fish Bioenergetics. Dordrecht: Springer Netherlands, 310 pp.
- Jobling M.** 2011. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. *Aquaculture International* 20: 601–602. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9480-6>
- Kamikawa K., Cruz E., Essington T., Hospital J., Brodziak J., Branch T.** 2015. Length-weight relationships for 85 fish species from Guam. *Journal of Applied Ichthyology* 31: 1171–1174. <https://doi.org/10.1111/jai.12877>
- Masó G., García-Berthou E., Merciai R., Latorre D., Vila-Gispert A.** 2025. Effects of captive-breeding conditions on metabolic and performance traits in an endangered, endemic cyprinidontiform fish. *Current Zoology* 71: 14–24. <https://doi.org/10.1093/cz/zoae018>
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B. S., Vijayan J., Lee M. K., Park C.-I., Kim D.-H.** 2020. Overfeeding-Induced Obesity Could Cause Potential Immuno-Physiological Disorders in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals* 10(9): 1499. <https://doi.org/10.3390/ani10091499>
- Tacon A. G. J., Cowey C. B.** 1985. Protein and Amino Acid Requirements. In: Tytler P., Calow P. (eds), Fish Energetics. Dordrecht, Netherlands: Springer, pp. 155–183. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7918-8_6
- Tosin O. V., Mohamed A. A., Ariffin N. A., Chowdhury A. J. K., Bolong A.-M. A.** 2022. Morphological Variation between Hatchery Bred and Wild Caught *Anabas testudineus* in Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*. 33, 201–214. <https://doi.org/10.21315/tlsr2022.33.1.12>