

**ДИСПЕРСИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МОЛОДИ КАМЧАТСКОЙ МАЛЬМЫ *SALVELINUS MALMA*  
В СВЯЗИ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ  
ПРИРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТООБИТАНИЙ**

***Е.В. Есин, Е.В. Шульгина***

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии (ВНИРО), Москва*

**DISPERSION OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS  
OF JUVENILE KAMCHATKA DOLLY VARDEN  
*SALVELINUS MALMA* RELATION TO THE INTENSITY  
OF VOLCANIC HABITATS POLLUTION**

***E.V. Esin, E.V. Shul'gina***

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO),  
Moscow*

Под влиянием условий среды рыбы из разных мест обитания приобретают в процессе онтогенеза специфические морфологические признаки (Есин, 2008; Guill et al., 2002). Ранее было показано, что в камчатских реках с избыточной мутностью и минерализацией у ранней молоди гольца – мальмы *Salvelinus malma* отмечается повышенная частота морфологических аберраций и асимметрии билатеральных структур, а с возрастом растет число гистологических патологий в жабрах и печени (Есин и др., 2012). Задачей данной работы стал анализ морфометрии пестряток мальмы 2–3-х летнего возраста из нерестово-выростных рек, различающихся силой механического и химического загрязнения.

Учитывая известные сложности с интерпретацией морфометрической информации (Мина и др., 2005; Adams et al., 2002), методике сбора и анализа данных уделили особое внимание. Всего в работе было использовано 6 выборок рыб из разных рек вулканических территорий. Мальму отлавливали в середине августа, для ее местообитаний определяли межженный диапазон мутности ( $S$ , мг/л) и индекс валового загрязнения воды по  $Al$ ,  $Cu$ ,  $Mo$ ,  $Pb$ ,  $Rb$ ,  $V$  и  $Zn$  (ИЗВ7, общая кратность превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов). Выборки по 28–30 экз. состояли из сформированных пестряток длиной АС от 8 до 12 см. Пойманных рыб закрепляли на предметном столике с предельно расправленными непарными плавниками. Цифровые изображения получали с правой стороны тела под прямым углом при стандартном расстоянии фокусировки (длина рыбы составляла 40–45 % длины кадра). Особи с деформациями тела

и плавников, а также максимальными показателями наполненности желудка в анализе не использовались. Промеры выполняли в открытом программном пакете ImageJ. Для получения сравнимых данных в этом исследовании применили классическую схему измерений И.Ф. Правдина с небольшими дополнениями. После исключения из анализа промеров, характеризующихся малой длиной, повышенной случайной изменчивостью и положением меток на краях сильно выпуклых форм, использовалось 16 параметров. Перед сравнением выборок все измерения пересчитали в морфометрические индексы (в % от  $AC$ ).

Распределение большинства анализируемых индексов статистически не отличалось от нормального ( $p > 0.05$ ), поэтому в анализе применялись стандартные параметрические критерии. В качестве мер разброса морфометрических характеристик использовали дисперсию ( $\sigma^2$ ) и относительную вариацию ( $\rho$ ) распределений индексов. Алгоритмы выравнивания позиций меток, как это принято в специализированной геометрической морфометрии (Rolph, 1999), при обработке данных по положению и особенно длине плавников сочли не применимыми.

Было установлено, что межполовые различия во всех выборках выражены незначительно. Чаще самки имели более короткую голову и удлиненную заднюю часть тела (соответственно, увеличенные оценки  $l_{pc}$ ,  $pD$  и  $pV$ ). Такие различия проявлялись во всех выборках по-разному, а их достоверность (по  $t$ -тесту) всегда была минимальна, поэтому данные морфометрических промеров самцов и самок были объединены. Различия между водотоками статистически проявлялись по 5–11 признакам ( $p \leq 0.05$ ). При этом уровень дискриминации выборок не коррелировал ни со степенью загрязненности мест обитания, ни с географической близостью водотоков. Достоверно различающиеся индексы при попарном сравнении выборок группировались случайно.

На фоне несистемных и слабо выраженных различий в экстерьере было обнаружено, что показатели разброса распределений индексов пластических промеров различались между выборками отдельных водотоков на четверть (табл.). В наиболее загрязненной р. Мутной средняя арифметическая дисперсия и вариация по 16 промерам составили 1.16 и 0.21, в р. Фальшивой – 1.14 и 0.22, в р. Бараньей – 1.10 и 0.23 соответственно. В это же время в более чистых реках средняя дисперсия и вариация составили 0.84–0.87 и 0.17–0.18. Повышение внутривыборочного разброса морфометрических характеристик происходило равномерно за счет всего комплекса анализируемых признаков, т.к. величина дисперсии самих показателей  $\sigma^2$  и  $\rho$  для выборок из загрязненных и чистых рек существенно не различалась.

Учитывая строгое соблюдение процедуры анализа, обнаруженную закономерность можно интерпретировать как проявление различной

стабильности аллометрического роста рыб из разных популяций или, иными словами, онтогенетических траекторий морфологического развития. Вероятно, в рр. Мутной, Фальшивой и Бараньей неблагоприятные условия постэмбрионального развития вызывают дестабилизацию закономерностей изменения пропорций тела (частные гетерохронии, не скомпенсированные акселерации или ретардации и т.п.). Другой вариант повышения группой вариабельности внешних признаков в выборках из загрязненных рек – ослабление давления отбора по морфологическим признакам в онтогенезе вследствие высокой смертности и сниженной конкуренции при физиологическом стрессе.

*Показатели разброса морфометрических характеристик пестряток мальмы *Salvelinus malma* из рек с разной интенсивностью механического и химического загрязнения*

При- знак	Мутная (влк. Авача) $S = 10-20$ мг/л; ИЗВ7 = 3.9			Фальшивая (Мутнов- ский влк.) $S = 5-9$ мг/л; ИЗВ7 = 3.2			Баранья (влк. Балхач) $S = 3-5$ мг/л; ИЗВ7 = 1.1		
	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$
<i>c</i>	20.5	1.36	0.25	21.6	0.86	0.15	21.6	0.75	0.14
<i>hD</i>	13.1	0.86	0.22	12.6	0.81	0.22	11.7	0.67	0.23
<i>lD</i>	14.0	0.95	0.26	15.1	0.79	0.20	15.0	1.41	0.41
<i>hA</i>	13.5	0.78	0.22	10.1	0.85	0.32	8.8	0.40	0.16
<i>lA</i>	10.7	0.63	0.27	13.2	0.65	0.18	12.4	0.98	0.32
<i>lP</i>	15.3	0.96	0.27	15.5	0.94	0.22	14.8	1.41	0.38
<i>lV</i>	12.1	0.79	0.31	12.1	0.95	0.37	11.5	0.91	0.33
<i>lC</i>	15.3	0.80	0.19	15.5	1.26	0.30	15.6	0.82	0.25
<i>aD</i>	43.1	1.08	0.11	43.5	1.17	0.10	42.0	0.77	0.07
<i>pD</i>	37.1	1.70	0.20	37.5	1.40	0.15	37.3	1.25	0.14
<i>aV</i>	46.1	1.70	0.17	45.9	1.07	0.09	46.5	1.50	0.14
<i>pV</i>	45.9	1.51	0.14	44.9	2.08	0.22	42.1	1.48	0.14
<i>aA</i>	65.7	1.42	0.09	66.1	1.17	0.07	64.8	1.07	0.07
<i>pA</i>	15.2	1.04	0.27	15.7	1.30	0.42	15.7	1.09	0.32
<i>P-V</i>	28.9	1.92	0.25	27.2	1.78	0.29	27.3	2.12	0.32
<i>V-A</i>	19.7	1.06	0.20	20.1	1.16	0.20	18.4	0.94	0.20
	Шумная (влк. Узон) $S = 0.1-1$ мг/л; ИЗВ7 = 0.7			Желтушка (влк. Авача) $S = 0.3-2$ мг/л; ИЗВ7 = 0.9			Семячик (влк. Семячик) $S = 0.1-1$ мг/л; ИЗВ7 = 0.8		
	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$
<i>c</i>	21.6	0.61	0.11	20.5	0.74	0.12	21.5	0.62	0.13
<i>hD</i>	11.7	0.66	0.23	13.2	0.70	0.22	14.1	0.59	0.17
<i>lD</i>	14.8	0.82	0.25	15.1	0.73	0.21	12.0	0.82	0.27
<i>hA</i>	8.8	0.40	0.16	10.1	0.52	0.24	12.9	0.60	0.18

Окончание табл.

При- знак	Шумная (влк. Узон) S = 0.1–1 мг/л; ИЗВ7 = 0.7			Желтушка (влк. Авача) S = 0.3–2 мг/л; ИЗВ7 = 0.9			Семячик (влк. Семячик) S = 0.1–1 мг/л; ИЗВ7 = 0.8		
	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$	М	$\sigma^2$	$\rho$
<i>LA</i>	12.4	0.98	0.41	12.4	0.78	0.28	9.1	0.68	0.35
<i>IP</i>	15.1	0.81	0.21	14.6	1.14	0.26	15.0	0.58	0.15
<i>IV</i>	11.5	0.91	0.42	12.2	0.83	0.25	11.6	0.50	0.19
<i>IC</i>	15.6	0.70	0.14	15.2	0.90	0.28	16.3	0.70	0.16
<i>aD</i>	42.0	0.78	0.07	43.0	0.79	0.08	41.7	0.78	0.07
<i>pD</i>	38.6	0.98	0.12	37.0	0.82	0.10	38.4	1.02	0.12
<i>aV</i>	47.0	0.94	0.08	46.6	0.83	0.07	45.2	1.12	0.10
<i>pV</i>	42.4	1.30	0.11	44.9	1.36	0.11	44.6	1.25	0.13
<i>aA</i>	65.0	1.01	0.06	66.1	1.06	0.07	62.3	1.38	0.07
<i>pA</i>	15.7	0.86	0.19	15.6	0.77	0.22	16.9	1.19	0.29
<i>P-V</i>	28.1	1.22	0.17	27.5	0.69	0.12	26.2	1.03	0.16
<i>V-A</i>	19.0	0.98	0.20	19.7	1.17	0.23	18.5	0.56	0.15

**Примечание.** *c* – длина головы; *hD* и *LD* – длина основания и высота спинного плавника, *hA* и *LA* – то же анального плавника, *IP* и *IV* – длина грудного и брюшного плавников, *IC* – длина верхней лопасти хвостового плавника; расстояния: *aD* – антедорсальное, *pD* – постдорсальное, *aV* – антевентральное, *pV* – поствентральное, *aA* – антеанальное, *pA* – постанальное (длина хвостового стебля); *P-V* – пектовентральное и *V-A* – вентроанальное.

В результате морфометрическое разнообразие среди выживших рыб сохраняется на относительно высоком уровне за счет присутствия особей – носителей условно безвредных значений признаков. Таким образом, показатели разброса морфометрических характеристик применимы для оценки качества условий роста и развития молоди лососей.

Работа поддержана грантами РФФИ «мол\_а» № 12–04–3118 и «мол\_а\_вед» № 12–5–33090.

## ЛИТЕРАТУРА

Есин Е.В. 2008. О выделении и анализе пространственно-временных группировок молоди кижуча (*Oncorhynchus kisutch*) в бассейне малой лососевой реки Нагилова (западная Камчатка) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 4. С. 302–316.

Есин Е.В., Метальникова К.В., Сорокин Ю.В. 2012. Особенности биологии камчатской мальмы *Salvelinus malma* из вулканических рек с избыточной минерализацией и мутностью // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : матер. XIII межд. науч. конф. Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс. С. 181–185.

Мина М.В., Левин Б.А., Мирановский А.Н. 2005. О возможности использования в морфометрических исследованиях рыб оценок признаков, полученных разными операторами // Вопр. ихтиол. Т. 45. Вып. 3. С. 331–341.

*Adams D.C., Rohlf F.J., Slice D.E.* 2002. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'Revolution' // *Ital. J. Zool.* Vol. 71. P. 5–16.

*Guill J.M., Hood C.S., Heins D.C.* 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae) // *Ecology of Freshwater Fish.* № 12. P. 134–140.

*Rohlf F.J.* 1999. Shape statistics: procrustes superimposition and tangent spaces // *J. Classification.* Vol. 16. № 1. P. 197–223.