УДК 597.553.2–147.8

А.М. Каев, А.А. Пулькина*

Сахалинский государственный университет,
693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290**К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕРА СКЛЕРИТОВ
НА ЧЕШУЕ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA***

Изучены образцы чешуи горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* из уловов в зал. Курильском (о. Итуруп, южные Курильские острова) и в реках Островка и Кура (южная часть побережья о. Сахалин). Подсчёт склеритов и измерение межсклеритных расстояний проведены по трём направлениям: по наибольшему радиусу и по двум радиусам с отклонением в обе стороны на 15°. Различия по числу склеритов между центральным и боковыми радиусами были вдвое ниже, чем при сравнении чешуи разных рыб в каждом из районов. Различия по ширине межсклеритных расстояний между этими радиусами были такими же, как при сравнении чешуи разных рыб в каждом из районов. В свою очередь эти различия были существенно ниже, чем статистически достоверные различия по этим показателям при сравнении чешуи горбуши из разных районов её воспроизводства. Эти результаты позволяют осуществлять коррекцию направления радиуса изучения чешуи, чтобы избежать завышения или занижения определяемого числа склеритов вследствие наличия локальных деформаций (слияние или раздвоение некоторых склеритов).

Ключевые слова: горбуша, чешуя, деформация склеритов, направление измерений, число склеритов, межсклеритные расстояния.

Kaev A.M., Pulkina A.A. On the method of detection the number and size of circuli on scales of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* // Izv. TINRO. — 2016. — Vol. 185. — P. 95–101.

Numbers of scale circuli are calculated and intercirculi spacings are measured along 3 radii (the longest one and two lateral ones deviated by 15° from the longest) for pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* from the Kurilsky Bay (Iturup Island, southern Kuril Islands) and the Ostrovka and Kura Rivers (southern Sakhalin Island). The difference of the circuli numbers along different radii was twice lower in comparison with the difference of their number between fish, but the differences of circulus spacing were similar between the radii and between fish in each area. Variability of these parameters was significantly higher between the areas, the differences were statistically significant for both in this case. The feature of low variability of the circuli number and intercirculi spacing allows to pick a proper radius for measuring the circuli to avoid over- or underestimation of their number in cases of local deformation of scale (merging or splitting of some circuli).

Key words: pink salmon, scale, deformation of scale circuli, radius of circuli measuring, circuli number, intercirculi spacing.

* Каев Александр Михайлович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией, заведующий кафедрой, e-mail: kaev@outlook.com; Пулькина Алеся Александровна, ассистент, e-mail: alesya_moon@mail.ru.

Kaev Alexander M., D.Sc., head of laboratory, head of department, e-mail: kaev@outlook.com; Pulkina Alesya A., assistant, e-mail: alesya_moon@mail.ru.

Введение

Совершенствование методов измерения чешуи привело к увеличению количества публикаций, в которых оцениваются особенности роста рыб, в том числе тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*, на основе изучения межсклеритных расстояний. В то же время открытым остается вопрос корректности использования этих данных в зависимости от направления радиуса, по которому проводятся измерения. Так, на примере двух американских популяций кеты *O. keta* установлены (Martinson et al., 2000) статистически достоверные различия в годовых приростах чешуи, определённых при разных схемах измерения — традиционной и рекомендованной Международной северо-тихоокеанской комиссией по рыболовству (INPFC) (рис. 1). Российские исследователи проводят измерения чешуи горбуши *O. gorbuscha* и кеты, как правило, по направлению наибольшего радиуса (Куликова, 1970; Каев, 1981, 1998, 2015а, б; Николаева, Семенец, 1983; Темных, 1998, 1999; Заволокин и др., 2012; Заволокин, Стрежнева, 2013), что практически соответствует схеме INPFC. Визуально выбираемое направление наибольшего радиуса может несколько смещаться из-за появления на чешуе узкой радиально направленной зоны деформации склеритов (рис. 2) либо из-за встречающихся хаотично слияний или раздвоений склеритов.

Рис. 1. Чешуя четырёхлетней кеты, иллюстрирующая метод INPFC и традиционный метод оценки годовых приростов (по: Martinson et al., 2000)

Fig. 1. Scale of chum salmon with ocean-age 3 chum as illustration of the INPFC and traditional methods for annual increments calculation (from: Martinson et al., 2000)

Рис. 2. Чешуя горбуши с локальной деформацией склеритов по направлению наибольшего радиуса

Fig. 2. Scales of pink salmon with local deformation of circuli on the longest radius

Задача настоящей работы — оценить, насколько такие смещения радиуса измерений могут повлиять на результаты сопоставления структуры чешуи разных рыб.

Материалы и методы

Изучены образцы чешуи горбуши из проб, собранных в 2014 г. в зал. Курильском (центральная часть охотоморского побережья о. Итуруп, 65 экз.) и в реках Островка (51 экз.) и Кура (21 экз.), соответственно на восточном и западном побережье зал. Анива

(южная часть о. Сахалин). Подсчёт склеритов и измерение межсклеритных расстояний проведены по визуально выбираемому наибольшему радиусу, а также по двум радиусам с отклонением в обе стороны на 15° от первоначально выбранного направления (рис. 3). Измерения межсклеритных расстояний в первой годовой зоне роста выполнены на распечатках чешуи (150–200-кратное увеличение) начиная от края центральной чешуйной пластинки (1-й склерит). С учётом извилистости линии, характеризующей краевую зону склеритов, первичные данные сглажены с применением минимального шага (по трём смежным значениям), чтобы сохранить все имеющиеся на чешуе чередования групп сужающихся или расширяющихся межсклеритных расстояний. Сопоставление результатов проведено для первого года, так как эта зона роста чаще всего, принимая во внимание существенные экологические различия обитания в прибрежных морских водах, используется для выявления отличительных особенностей чешуи у лососей с коротким пресноводным периодом развития. Для унификации данных межсклеритные расстояния выражены в процентах к их суммарному значению в первой годовой зоне (ПГЗ), за внешнюю границу которой принят средний из 5 смежных склеритов в зоне годового кольца с наименьшей суммой межсклеритных расстояний (Каев, 2015а). С учётом того, что количество склеритов на чешуе разных рыб неодинаково, для сопоставления склеритограмм выбран вариант нормирования числа склеритов к какому-либо единому значению (Темных, 1998), за которое принято число 23 склерита в ПГЗ, использовавшееся при изучении межгодовой изменчивости склеритограмм чешуи горбуши в регионе (Каев, 2015б).

Рис. 3. Направления измерений на чешуе: по визуально выбранному наибольшему радиусу (сплошная линия) и по двум радиусам с отклонением в обе стороны на 15° (пунктирные линии)

Fig. 3. Radii of the circuli measurements on scale: *solid line* — visually the longest radius, *dotted lines* — two radii deviated by 15°

Статистическая обработка выполнена с применением пакета программы Microsoft Excel и в соответствии с рекомендациями Н.А. Плохинского (1970). При попарном сравнении склеритограмм оценивали различия между средними значениями всех межсклеритных расстояний в соответствии с их порядковым номером. В тексте использованы следующие символы: M — среднее значение, SD — основное квадратичное отклонение, p — уровень значимости нуль-гипотезы, n — объём выборки. Достоверность различия между средними значениями оценена по критерию Фишера (F_d).

Результаты и их обсуждение

При сравнении числа склеритов в ПГЗ чешуи горбуши о. Итуруп не выявлено статистически значимых различий между их количеством по направлению центрального радиуса ($M = 23,46$; $SD = 1,84$; $n = 65$) и по каждому из боковых радиусов ($M = 23,45$; $SD = 1,85$ и $M = 23,49$; $SD = 1,71$). Такой же результат получен при сопоставлении этих показателей как для горбуши из р. Островка (центральный радиус: $M = 24,51$; $SD = 1,58$; $n = 51$; боковые радиусы: $M = 24,43$; $SD = 1,53$ и $M = 24,92$; $SD = 1,70$) с близким объёмом выборки, так и для горбуши из р. Кура (центральный радиус: $M = 25,52$; $SD = 1,47$; $n = 21$; боковые радиусы: $M = 25,19$; $SD = 1,47$ и $M = 25,76$; $SD = 1,22$) с наименьшим

объёмом выборки. Даже при сравнении между собой боковых радиусов, как наиболее расходящихся по этому признаку, различия между ними остаются статистически незначимыми: $F_d = 0,02$ для о. Итуруп, $F_d = 2,35$ для р. Островка и $F_d = 1,88$ для р. Кура). В то же время если анализировать каждую из чешуек отдельно, то количество склеритов в боковых радиусах совпадало с таковым в центральном радиусе только у 41,5 % образцов с о. Итуруп, 33,3 % из р. Островка и 40,5 % из р. Кура. В большинстве случаев разница между этими значениями составляла по 1 склериту, реже — по 2 склерита (рис. 4). Тем не менее, судя по основному квадратичному отклонению, уровень этой индивидуальной изменчивости по числу склеритов в зависимости от направления их подсчёта в пределах обозначенного сегмента на чешуе ($\pm 15^\circ$ от выбранного наибольшего радиуса) существенно ниже, чем групповой изменчивости (сопоставление данных подсчёта по наибольшему радиусу у всех образцов из данного района).

Рис. 4. Распределения отклонений по числу склеритов между индивидуальными значениями центрального и боковых радиусов (1) и между индивидуальными значениями и средним для выборки значением по центральному радиусу (2) в ПГЗ чешуи горбуши из разных районов (прибрежье о. Итуруп, реки Островка и Кура)

Fig. 4. Distribution of circuli number differences between the individual values measured along the longest radius and lateral radii (1), between the individual values along the longest radius and their averaged value (2), and between the values of the first annual zone width for pink salmon from the different areas (Iturup Island, Ostrovka River, Kura River)

Неодинаковое количество склеритов по разным направлениям их подсчёта обусловлено хаотично расположенными позициями их слияния или раздвоения, что наблюдается на чешуе многих видов рыб (Дгебуадзе, Чернова, 2009). В то же время если отслеживать появление таких деформаций склеритов с одного направления (например, слева направо), то в большинстве случаев их слияние компенсируется последующим раздвоением (локальные разрывы линии склерита во внимание не принимаются), причём это происходит не обязательно у рядом расположенных склеритов (рис. 5). Иное дело, что не все эти «компенсационные» деформации попадают в исследуемый сектор чешуи. Так, в нашем случае в обозначенном секторе только у 56,2 % изученных образцов чешуи обнаружены такие деформации, из которых почти половина (если рассматривать случаи с числом деформаций от двух и более) состояла из компенсирующих друг друга пар «слияние–раздвоение» (см. таблицу).

Различие по величине соответствующих межсклеритных расстояний между центральным и боковыми радиусами было таким же, как при сравнении межсклеритных расстояний по центральным радиусам разных чешуй с их средними значениями для данной выборки. Об этом можно судить по близким между собой соответствующим значениям основного квадратичного отклонения, полученным при изучении чешуи горбуши из прибрежных вод о. Итуруп (0,48 и 0,53), из р. Островка (0,46 и 0,47) и малочисленной выборки из р. Кура (0,47 и 0,45). Небольшое различие между этими значениями обусловлено сходством склеритограмм чешуи горбуши в каждом из районов наблюдений (рис. 6). Так, ни по одной из сравниваемых пар межсклеритных расстояний при сопоставлении центральной с каждой из боковых склеритограмм чешуи горбуши о. Итуруп не выявлено статистически значимых различий (для одной пары

Рис. 5. Раздвоение (круглые символы) и слияние (треугольные символы) склеритов на чешуе горбуши

Fig. 5. The splitting (rounds) and merging (triangulars) of circuli on scales of pink salmon

Встречаемость деформаций склеритов (слияние или раздвоение) в изученном секторе ($\pm 15^\circ$ от направления наибольшего радиуса) чешуи горбуши

Frequency of the scale circuli deformation (splitting or merging) in the sector $\pm 15^\circ$ from the longest radius of the pink salmon scale

Число деформаций	Количество чешуй		Число случаев с разницей количества слияний и раздвоений склеритов, равной:			
	Шт.	%	0	1	2	3
0	60	43,8	—	—	—	—
1	28	20,4	—	28	—	—
2	29	21,2	15	14	—	—
3	9	6,6	—	7	—	2
4	7	5,1	7	—	—	—
5	2	1,5	—	2	—	—
6	2	1,5	2	—	—	—
Всего	137	100,0	24	51	0	2

склеритограмм среднее значение F_d составило 0,52 при диапазоне индивидуальных значений от 0,02 до 2,00, для другой — 0,98, от 0,00 до 3,54). При таком же сопоставлении склеритограмм чешуи горбуши из р. Островка получен сходный результат: в одной паре не выявлено статистически значимых различий ($F_d = 0,56$, диапазон от 0,00 до 3,55), а в другой паре оценка различия межсклеритных расстояний ($F_d = 0,79$, диапазон от 0,00 до 4,75) превысила критическое значение преобразованного критерия Фишера при первом статистическом уровне значимости всего в одном случае. Только на чешуе горбуши из р. Кура статистически значимые различия ($p < 0,05$) по ширине межсклеритных расстояний выявлены для обеих пар сравниваемых склеритограмм: у одной пары ($F_d = 0,76$, от 0,00 до 4,16) в одном случае, у другой пары ($F_d = 0,75$, от 0,00 до 5,40) в двух случаях, но даже в последнем варианте среднее значение критерия Фишера для всех 22 сравниваемых пар склеритов сохранилось на том же низком уровне.

Рис. 6. Склеритограммы по направлению центрального (2) и двух боковых радиусов (1, 3) изучаемого сегмента ПГЗ чешуи горбуши из разных районов (о. Итуруп, реки Островка и Кура)

Fig. 6. Intercirculi spacing along the central radius (2) and two lateral radii (1 and 3) for the first annual zone on the scale of pink salmon from different areas (Iturup Island, Ostrovka River, Kura River)

Совершенно иначе выглядит ситуация при сравнении склеритограмм чешуи горбуши из разных районов. В результате существенных расхождений в росте, особенно в первые месяцы морского периода жизни (рис. 7), статистически значимые различия выявлены как у большего числа сравниваемых пар межсклеритных расстояний, так и более высокого уровня значимости. Даже у наиболее сходных по конфигурации склеритограмм горбуши о. Итуруп и р. Островка оценка разницы межсклеритных расстояний ($F_d = 2,14$, диапазон от 0,00 до 8,99) в двух случаях превысила критическое значение преобразованного критерия Фишера при втором статистическом уровне значимости ($p < 0,01$). Оценка разницы межсклеритных расстояний в парах «Кура–Островка» ($F_d = 3,15$, диапазон от 0,00 до 20,98) и «Кура–Итуруп» ($F_d = 4,70$, диапазон от 0,00 до 25,78) соответственно в одном и в трёх случаях превысила критическое значение преобразованного критерия Фишера уже при третьем статистическом уровне значимости ($p < 0,001$). При этом средние значения критерия Фишера во всех этих вариантах сопоставимы по своей величине с наибольшими его значениями при оценке разности межсклеритных расстояний по разным направлениям измерения чешуи. Такое соотношение результатов полностью соответствует рангу различий по межсклеритным расстояниям, выявленным при сопоставлении склеритограмм чешуи разных особей горбуши внутри каждого района и соответствующих выборок из разных районов (Каев, 2015а).

Рис. 7. Склеритограммы ПГЗ чешуи горбуши (по центральному радиусу изучаемого сегмента): 1 — о. Итуруп; 2 — р. Островка; 3 — р. Кура

Fig. 7. Intercirculi spacing along central radius for the first annual zone on the scale of pink salmon from different areas: 1 — Iturup Island; 2 — Ostrovka River; 3 — Kura River

Закключение

Таким образом, уровень индивидуальной изменчивости структуры чешуи у разных рыб в одном районе оказался ниже (по числу склеритов) или таким же (по межсклеритным расстояниям), как у групповой изменчивости этих признаков в каждом из районов, и, в свою очередь, существенно ниже изменчивости, выявляемой по этим признакам при межрайонных сопоставлениях. Следовательно, при выборе направления измерения чешуи по направлению наибольшего радиуса вполне возможна небольшая коррекция направления (в пределах обозначенного сегмента $\pm 15^\circ$), что позволяет избежать занижения (рис. 8, а) или завышения (рис. 8, б) количества склеритов на чешуе, как одного из основных показателей, характеризующих структуру чешуи горбуши из разных районов её воспроизводства.

Fig. 8. Correction of measurements on intercirculi spacing and curculio number for scales with local deformation: а — case of underestimation; б — case of overestimation; dotted line — the longest radius; solid line — direction of the correction

Список литературы

Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура : моногр. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2009. — 315 с.

Заволокин А.В., Кулик В.В., Глебов И.И. и др. Динамика размеров, возраста и внутри-годовых темпов роста анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в 1962–2010 гг. // Вопр. ихтиол. — 2012. — Т. 52, № 2. — С. 215–233.

Заволокин А.В., Стрежнева Е.В. Размерно-селективная смертность охотоморской горбуши в период ее зимне-весеннего обитания в океане // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 125–134.

Каев А.М. Возраст и рост кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) острова Итуруп // Вопр. ихтиол. — 1981. — Т. 21, № 6. — С. 1023–1029.

Каев А.М. Идентификация происхождения и истории жизни охотоморской кеты *Oncorhynchus keta* по чешуе // Вопр. ихтиол. — 1998. — Т. 38, № 5. — С. 650–658.

Каев А.М. Ретроспективная оценка роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по чешуе: региональная изменчивость // Вопр. ихтиол. — 2015а. — Т. 55, № 3. — С. 298–312.

Каев А.М. Ретроспективная оценка роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по чешуе: межгодовая изменчивость // Вопр. ихтиол. — 2015б. — Т. 55, № 5. — С. 570–585.

Куликова Н.И. Структура чешуи и характер роста кеты различных стад // Изв. ТИНРО. — 1970. — Т. 74. — С. 81–93.

Николаева Е.Т., Семенец Н.И. К методике дифференциации стад кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) (Salmonidae) по структуре чешуи и первого года роста // Вопр. ихтиол. — 1983. — Т. 23, вып. 5. — С. 735–745.

Плохинский Н.А. Биометрия : моногр. — М. : МГУ, 1970. — 367 с.

Темных О.С. Региональная изменчивость склеритограмм чешуи азиатской горбуши // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 375–390.

Темных О.С. Рост приморской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в периоды высокой и низкой ее численности // Вопр. ихтиол. — 1999. — Т. 39, № 2. — С. 219–223.

Martinson E.C., Masuda M.M., Helle J.H. Back calculated fish length, percentages of scale growth, and scale measurements for two scale measurement methods used in studies of salmon growth // N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Bull. — 2000. — № 2. — P. 331–336.

Поступила в редакцию 26.01.16 г.