

УДК 597.553.2.574.3

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И РОСТА ЧЕШУИ МАЛОТЫЧИНКОВОГО СИГА *COREGONUS LAVARETUS LAVARETUS* (*COREGONIDAE*) ОЗЕРА ИМАНДРА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

Исследованы морфология и размерно-возрастные особенности чешуи малотычинкового сига *Coregonus lavaretus lavaretus* трех участков оз. Имандра, находящихся в различных условиях антропогенной нагрузки. Показана неравномерность относительной скорости роста переднего, бокового и заднего секторов чешуи в течение жизни при постоянстве ее формы. Для обратных расчислений длины рекомендовано использовать передний диагональный радиус чешуи с применением формулы Р. Ли.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сиг *Coregonus lavaretus*, озеро Имандра, морфология чешуи, обратные расчисления.

E. M. Zubova, N. A. Kashulin. MODERN FEATURES OF THE MORPHOLOGY AND GROWTH OF SCALES IN SPARSELY RAKERED WHITEFISH *COREGONUS LAVARETUS LAVARETUS* (*COREGONIDAE*) IN LAKE IMANDRA UNDER INTENSIVE INDUSTRIAL POLLUTION

The morphology and size-age features of scales in sparsely rakered whitefish *Coregonus lavaretus lavaretus* from three localities in Lake Imandra differing in human pressure have been studied. The growth rate of anterior, lateral and posterior parts of scales during the life of the fish was uneven, whereas the scale shape was constant. It is recommended to use the anterior diagonal radius of a scale using R. Lee formula for back calculations of fish body length.

K e y w o r d s: whitefish *Coregonus lavaretus*, Lake Imandra, scale morphology, back calculations.

Введение

Изучение изменения рыбной части сообщества оз. Имандра, испытывающего многофакторное антропогенное влияние, проводятся уже более 70 лет [Крогиус, 1931; Галкин и др., 1966; Беляева и др. 1972; Решетников, 1980; Моисеенко, 1983, 2000, 2002; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные модификации..., 2002;

Лукин и др., 2006; Решетников и др., 2011]. Основной интерес в исследованиях привлекал доминирующий комплекс озера – сиговые рыбы, в частности сиг *Coregonus lavaretus*, рекомендованный как тест-объект ихтиологического мониторинга [Моисеенко, 1991]. Большое внимание уделялось изменению ростовых характеристик рыб, динамика которых во многом определяется антропогенно-обусловленными изме-

нениями среды их обитания. Эти исследования касались не только наблюдаемых размерно-весовых параметров, но и расчисленной длины, что позволяло реконструировать особенности ростовых характеристик изучаемых рыб за период их жизни [Крогиус, 1931; Владимирская, 1956; Решетников, 1966; Беляева и др., 1972; Моисеенко, 2002; Зубова, 2013; Зубова, Кашулин, 2013]. Для сиговых рыб умеренной и субарктической зоны северного полушария наиболее часто используемой структурой для обратных расчислений является чешуя [Van Oosten, 1923; Решетников, 1966, 1980; Черешнев, Скопец, 1992; Смирнов, Смирнова-Залуми, 1993]. Особенности закладки годового кольца на чешуе у сигов бассейна оз. Имандра начала 60-х годов прошлого века были подробно описаны Ю. С. Решетниковым [1966, 1980], но морфологические особенности чешуи не приводились. В этих работах Ю. С. Решетников также приводит методические особенности обратных расчислений длины сигов оз. Имандра. Данная процедура имеет ряд особенностей: выбор регистрирующей структуры, объективно отражающей начало и конец периода роста [Дгебуадзе, 1979]; выбор оптимального участка или сектора данной структуры, что достигается подробным изучением ее морфологии и размерно-возрастной изменчивости [Брюзгин, 1969].

Чешуя как регистрирующая структура может отражать не только особенности роста рыб, но и особенности условий их обитания. Интенсивное загрязнение Имандры во второй половине 20 века вызывало нарушения развития и строения внутренних органов и структур костного и кожного скелета рыб [Моисеенко, 1983, 1991; Кашулин и др., 1999; Моисеенко, Лукин, 1999], в том числе и чешуи. Начало нынешнего века характеризуется снижением токсичной нагрузки на водоем, но интенсификацией его эвтрофирования [Кашулин и др., 2012]. Эти процессы затрудняют использование регистрирующих структур для определения возраста и исследований темпов роста, что обуславливает необходимость уточнения морфологии чешуи и методик ее использования в размерно-возрастных расчислениях [Smolyar, Bromage, 2004]. Отсутствие единых методических подходов в обратных расчислениях ростовых характеристик рыб Кольского Севера затрудняет интерпретацию полученных результатов.

Для решения перечисленных выше проблем в 2011–13 гг. нами были исследованы преднерестовые скопления сига трех плесов озера Имандра: Большой, Йокостровской и Бабинской, испытывающих разноуровневую техногенную нагрузку.

Цель данной работы: исследование современных особенностей строения чешуи сигов, обитающих в различных условиях, и уточнение методики обратных расчислений длины.

Район исследования и характеристика антропогенных воздействий

Озеро Имандра – один из крупнейших запольных водоемов (площадь 880 км²), испытывающий многофакторное антропогенное влияние. Имандра состоит из трех в значительной мере самостоятельных участков (плесов) – Большой (далее БоИ), Йокостровской (далее ЙИ) и Бабинской (далее БаИ) Имандры, соединяющихся между собой узкими проливами, в которых обитают относительно изолированные внутривидовые группировки сига (рис. 1).

Северная часть озера – БоИ – подвергается влиянию сточных вод медно-никелевого и горнорудного производства (комбинат «Североникель» и Оленегорский ГОК), а также сточных вод апатит-нефелинового производства (ОАО «Апатит»). БаИ располагается в юго-западной части оз. Имандра, наиболее удален от промышленных центров и не испытывает прямого химического загрязнения, но начиная с 1973 г. в губу Молочная плеса сбрасываются подогретые воды Кольской АЭС. ЙИ занимает промежуточное положение. В южной части данного плеса формируется сток из озера (см. рис. 1) [Антропогенные модификации..., 2002].

Материалы и методы

Все ихтиологические материалы были собраны в летне-осенний период в рамках комплексных исследований плесов БоИ и северной части ЙИ в 2012–2013 гг., БаИ в 2011 г. (см. рис. 1). Рыбу отлавливали ставными жаберными донными сетями из нейлонового монофиламента стандартной длиной 25 м, высотой 1,5 м и с размером ячеи 10, 12,5, 16, 22, 25, 30, 35, 38 и 45 мм, что обеспечивало вылов рыбы длиной от 5 см и более. Обработка материала проводилась по стандартной методике [Правдин, 1966]. Для выделения внутривидовых форм у исследуемых сигов производился подсчет количества тычинок на первой жаберной дуге [Правдин, 1966; Решетников, 1980; Siwertsson et al., 2008]. Выборка составила: БоИ – 46 экземпляров сига, ЙИ – 462 экземпляра, БаИ – 140 экземпляров.

Чешуя для исследования всегда бралась с середины тела, под передней частью спинного плавника. Просчитывался процент рыб с разрушенным центром чешуи. Для определения

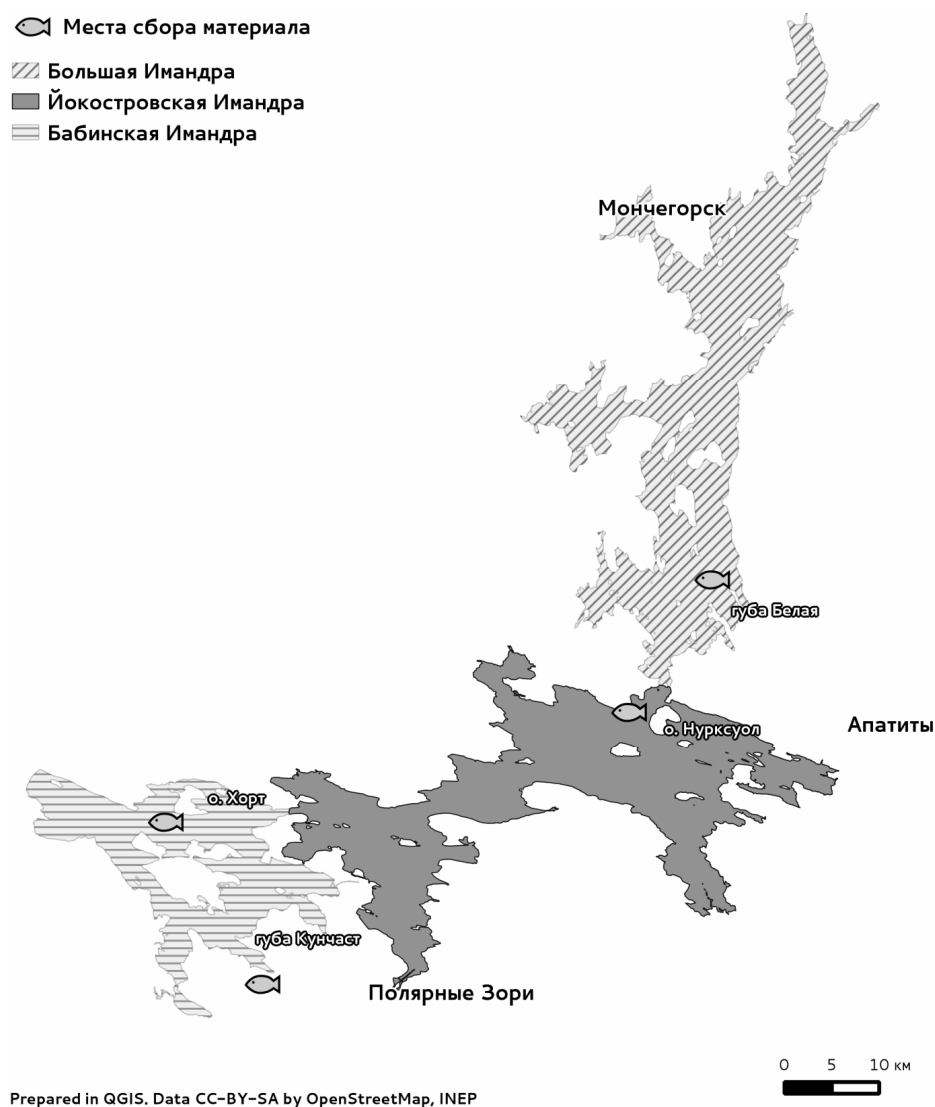


Рис. 1. Карта-схема сбора материала в оз. Имандра, 2011–2013 гг.

возраста под биноклем просматривалось 4–6 чешуй от каждого сига [Галкин, 1958; Чугунова, 1959; Чернова, Дгебуадзе, 2008]. Из каждой пробы выбиралась чешуя с наиболее ясной структурой, и с помощью окуляр-микрометра проводились измерения ее продольного, поперечного диаметров и радиусов: переднего (базального) и переднего диагонального. Боковой и задний (каудальный) радиусы не измерялись – их находили путем деления значения поперечного диаметра на 2 и вычитания из значения продольного диаметра значения переднего радиуса соответственно (рис. 2). Определялись: J – относительный размер чешуи, равный продольному диаметру (ab) в процентах от длины тела (AC); B – отношение продольного диаметра (ab) к поперечному (cd), характеризует форму (ширину) чешуи; br – передний радиус (bo), выраженный в процентах

от продольного диаметра чешуи (ab), показывает положение ядра чешуи (см. рис. 2) [Галкин, 1958; Чернова, Дгебуадзе, 2008]. Для описания возрастных изменений секторов чешуи сегов (переднего, бокового и заднего) использовали их значения в процентах от длины тела (AC) [Чугунова, 1959]. У 20 экземпляров сига из ЙИ подсчитывалось количество склеритов на переднем, боковом и заднем радиусах чешуи. Просчитывался процент рыб с разрушенным центром чешуи. За основу расчисления длины (AC) была взята формула Розы Ли [Чугунова, 1959; Брюзгин, 1969]:

$$Li = Lc(Si / Sc) + a(1 - Si / Sc),$$

где Lc – длина рыбы в момент поимки, Li – длина рыбы в возрасте i лет, Sc – радиус чешуи данной рыбы в момент ее поимки, Si – радиус чешуи этой особи в возрасте i лет, a – постоянная величина.

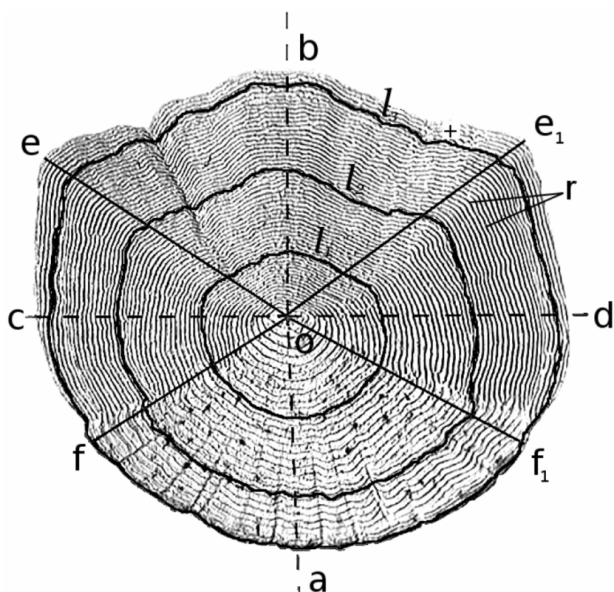


Рис. 2. Схема структуры чешуи трехгодовалого (четырёхлетнего) сига *Coregonus lavaretus* плеса Йокостровская Имандра, 2012 г. [по Галкину, 1958, с изменениями]: *o* – центр, *ab* – продольный диаметр, *cd* – поперечный диаметр, *bo* – передний (базальный) радиус, *eo* и *e,o* – передние диагональные радиусы, *so* и *do* – боковые радиусы, *fo* и *f,o* – задние диагональные радиусы, *oa* – задний (каудальный) радиус, *eoe* – передний сектор, *escf* и *escf₁* – боковые сектора, *fof₁* – задний сектор, *r* – склериты, *I₁*, *I₂*, *I₃* – годовые зоны роста [по Смирнову, Смирновой-Залуми, 1993], + – незаконченный прирост

Результаты и обсуждение

Наиболее интенсивное загрязнение оз. Имандра происходило во второй половине 20 века [Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные модификации..., 2002]. Как говорилось выше, в настоящее время в озере наблюдается снижение уровня токсичности водной среды, но интенсификация процессов эвтрофикации. Общая минерализация, содержание основных ионов, а также биогенных элементов и тяжелых металлов резко увеличивается относительно БаИ в сторону БоИ (табл. 1). Показатели ЙИ носят промежуточный характер. Соотношение уровней нагрузки биогенных элементов и тяжелых металлов определяет биологическую продуктивность плесов, проявляющуюся в пространственной динамике значений биомассы фито- и зоопланктона (табл. 2). Однако показатели биомассы бентоса высокими были в ЙИ.

Сиги из БаИ были представлены одной формой – малотычинковой (количество тычинок $22,4 \pm 0,2$). В уловах из ЙИ и БоИ встречались две формы сига – малотычинковая ($23,3 \pm 0,1$ и $24,0 \pm 0,4$ тычинок соответственно) и среднетычинковая ($37,3 \pm 2,1$ и $38,8 \pm 0,6$ тычинок). Последняя форма

составляла примерно 0,9 и 30,0 % от уловов соответственно. Присутствие среднетычинковых сигов в уловах определяется высокой трофностью этих плесов. В дальнейшем в работе приводятся данные только по малотычинковому сигу.

Таблица 1. Основные гидрохимические показатели воды в различных плесах оз. Имандра, 2011–2013 гг.

Гидрохимический показатель	Бабинская Имандра	Йокостровская Имандра	Большая Имандра
O_{21} , %	77,3	88,9	92,4
O_{21} , мг/л	7,39	8,98	9,37
pH	7,33	7,42	7,78
Общая минерализация, мг/л	39,9	70,8	91,3
PO_4^{3-} , мкгР/л	1	2	10
Р общ, мкгР/л	6	19	55
NH_4^+ , мкгN/л	10	6	15
NO_3^- , мкгN/л	18	1	166
N общ, мкгN/л	147	183	396
Сумма средних показателей тяжелых металлов в воде, мкг/л (Al, Fe, Cu, Ni, Zn, Mn, Sr, Pb, Cd)	99,2	182,5	413,4

Таблица 2. Основные гидробиологические показатели в различных плесах оз. Имандра, 2011–2013 гг.

Гидробиологический показатель	Бабинская Имандра	Йокостровская Имандра	Большая Имандра
Биомасса фитопланктона, г/м ³	0,46	1,57	2,98
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/м ³	1,41	3,68	6,12
Численность зоопланктона, экз./м ³	265,5	880,2	1301,3
Биомасса зоопланктона, г/м ³	0,5	2,6	6,9
Численность бентоса, экз./м ²	224	3900	7500
Биомасса бентоса, г/м ²	1,2	44,1	36,3

По возрастным группам сига были представлены: в БаИ семью возрастными группами от 1+ до 7+ лет; в ЙИ десятью – от 0+ до 9+ лет; в БоИ – от 3+ до 7+ лет. Во всех плесах преобладали малотычинковые сиги в возрасте 3+, 4+ и 5+ лет. По длине и массе сига были представлены: из БаИ длиной 150–436 (в среднем $266,3 \pm 4,8$) мм и массой 29–1350 ($249,3 \pm 16,2$) г; в ЙИ – длиной 113–464 ($273,9 \pm 2,1$) мм и массой 15–1660 ($261,9 \pm 7,5$) г; в БоИ – длиной 212–374 ($310,7 \pm 6,3$) мм и массой 109–940 ($437,7 \pm 30,3$) г.

Морфологические особенности чешуи

Во всех исследуемых плесах оз. Имандра в пробах встречалась чешуя с разрушенной центральной областью (рис. 3, а), непригодная для определения возраста и обратных расчислений длины рыб. Ряд исследователей полагают,



а



б

Рис. 3. Чешуя с разрушенной центральной областью малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра (а) в возрасте 2+ (АС = 232,0 мм), 2011–2012 гг. (увеличение: а – ок. 10 ×, об. 1,0 ×). Ерошение чешуи на теле малотычинкового сига плеса Йокостровская Имандра (б) (фотография П. М. Терентьева, 2012 г.)

что подобные изменения свойственны регенерирующей чешуе, заменяющей утраченные в результате травм или болезней нормальные склериты на нерегулярные гранулярные образования [Muir, Naas, 2003]. В условно-фоновых районах плеса БаИ такая аномалия в строении чешуи наблюдалась у 60 % исследованных рыб, при этом чешуй с аномалиями было от 5 до 75 % от количества в пробе. С возрастом частота встречаемости рыб с регенерирующей чешуей возрастала и в возрасте 7+ составляла 100 %. Схожая картина наблюдалась и у сигов БоИ. Условия обитания сигов в ЙИ носят промежуточный характер (см. табл. 1, 2), но частота встречаемости регенерирующей чешуи здесь наиболее высока – она встречалась у 90 % сигов, чешуй с аномалиями было от 5 до 90 % от количества в пробе; часто встречалась деформированная чешуя.

В ЙИ у 20 % выловленных сигов наблюдалось ерошение чешуи (рис. 3, б), чего не отмечалось у рыб БаИ и БоИ. Ерошение чешуи является основным симптомом при таких бактериальных заболеваниях рыб, как аэромонос, лепидортоз и т. д. [Чернова, Дгебуадзе, 2008], и свидетельствует о неблагоприятном бактериологическом режиме воды исследуемого плеса

и ослабленном иммунитете рыб. Отсутствие ерошения чешуи у сигов в БоИ можно объяснить подавлением роста и размножения микроорганизмов токсической средой, которую создают высокие концентрации тяжелых металлов в воде данного плеса (см. табл. 1).

Строение нормально структурированной чешуи у малотычинковых сигов разных плесов не различалось. Чешуя исследуемых рыб типичная циклоидная, центральный склерит имеет овальную форму, чаще незамкнут, область центра содержит включения, которые напоминают участки разрушенного склерита (рис. 4, а, б, в). Склериты имеются на всей поверхности чешуи – они образуют чередующиеся комплексы из «концентрических» и следующих за ними «выклинивающих» («срезанных») склеритов, которые формируют годовые зоны роста (см. рис. 4, а, б, в). Выклинивание склеритов начинается на границе бокового и заднего секторов чешуи и заканчивается на переднем секторе, поэтому здесь их большее число (табл. 3), что указывает на закладку и более интенсивный их рост в базальной части с вершины чешуи. В переднем секторе наблюдается удвоение склеритов (см. рис. 4, а, б, в; 5, а), склериты здесь слабоволнистые. Вдоль боковых секторов че-

Таблица 3. Число склеритов на переднем, переднем диагональном и заднем радиусах чешуи у малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus*, обитающего в плесе Йокостровская Имандра, 2012–2013 гг.

Радиус чешуи	Возраст, лет					
	1+	2+	3+	4+	5+	6+
Передний	14,9 ± 0,6	11,4 ± 1,0	12,6 ± 1,5	11,1 ± 0,9	14,3 ± 2,2	10,7 ± 2,9
Передний диагональный	13,5 ± 0,6	10,9 ± 1,0	12,0 ± 1,3	10,4 ± 1,0	13,8 ± 2,2	10,7 ± 2,9
Задний	9,7 ± 0,4	6,0 ± 0,6	5,4 ± 0,7	4,7 ± 1,0	4,2 ± 0,5	3,0 ± 0,0
Число экземпляров	20	16	12	9	6	3

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5 представлено среднее значение и его погрешность.

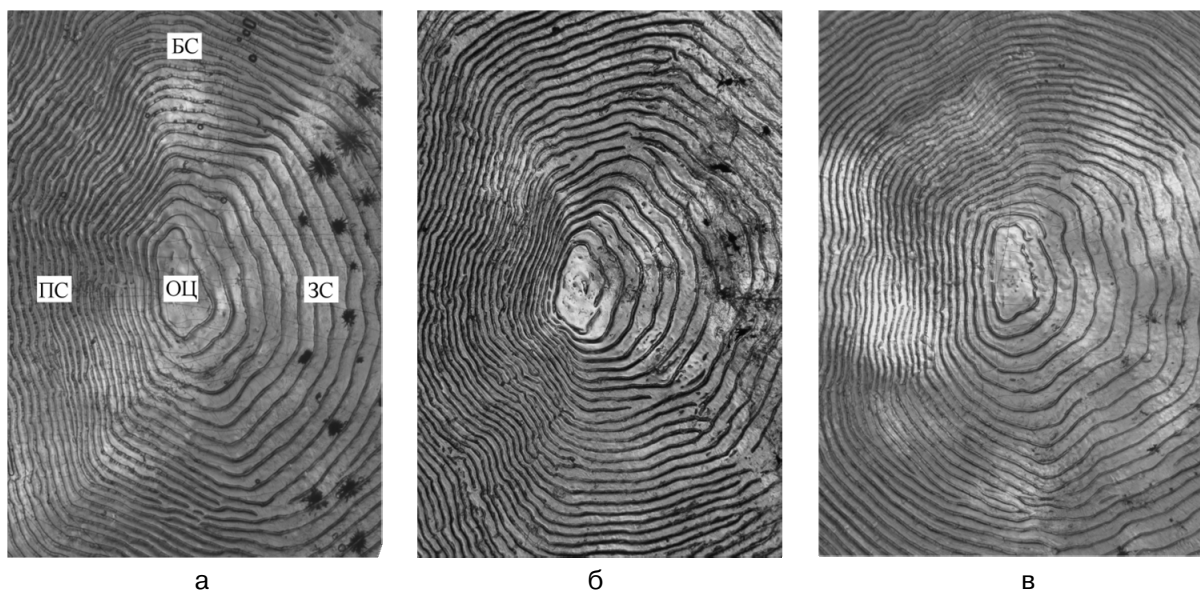


Рис. 4. Морфологические особенности чешуи малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра (а) в возрасте 3+ (АС = 268,0 мм), 2011 г., плеса Йокостровская Имандра (б) в возрасте 3+ (АС = 265,0 мм), 2012 г., и плеса Большая Имандра в возрасте 3+ (АС = 293,0 мм), 2013 г.: ОЦ – область центра, ПС – передний сектор, БС – боковой сектор, ЗС – задний сектор. Увеличение: ок. 10 $\times$, об. 5 $\times$

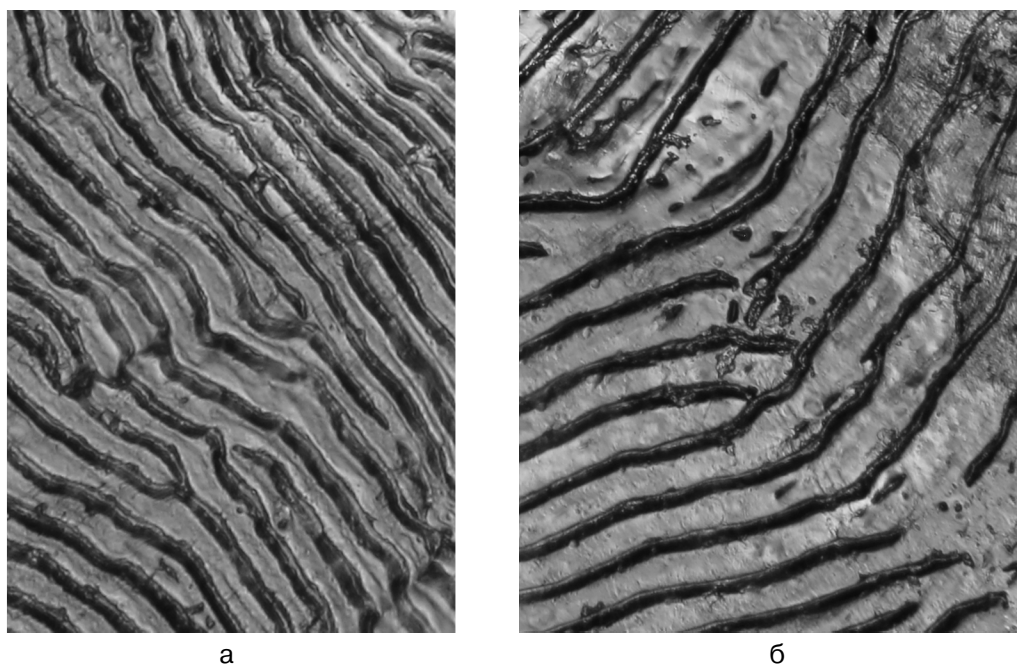


Рис. 5. Удвоение склеритов на переднем секторе чешуи (а) и «обрывание» склеритов на границе бокового и заднего секторов чешуи (б) малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Йокостровская Имандра в возрасте 3+ (АС = 265,0 мм), 2012 г. Увеличение: ок. 10 $\times$, об. 20 $\times$

шуи в результате утери склеритов расстояние между ними незначительно больше; гораздо большие расстояния наблюдаются между склеритами на заднем секторе (см. рис. 4, а, б, в), что объясняется дополнительной потерей некоторых склеритов на границе бокового и заднего секторов чешуи, они как бы «обрываются» (см. рис. 4, а, б, в; 5, б).

Размерно-возрастные изменения морфологии чешуи

Размерно-возрастных различий в морфологии чешуи у малотычинковых сигов из разных плесов не выявлено. Относительный размер чешуи у исследуемых рыб достоверно увеличивается с возрастом, при этом центр чешуи сдвигается к заднему (каудальному) краю ($p > 0,95$)

Таблица 4. Относительный размер чешуи (J), %, форма чешуи (B) и относительное положение ядра чешуи (br), %, малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus*, обитающего в различных плесах оз. Имандра, 2011–2013 гг.

Показатель морфологии чешуи	Возраст, лет									
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
Бабинская Имандра										
J	-	1,55	$1,54 \pm 0,04$	$1,58 \pm 0,04$	$1,70 \pm 0,03$	$1,72 \pm 0,04$	$1,76 \pm 0,06$	$1,82 \pm 0,06$	-	-
B	-	0,95	$0,98 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$	$1,03 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,02$	-	-
br	-	45,1	$47,5 \pm 1,6$	$49,2 \pm 1,2$	$54,4 \pm 0,7$	$54,7 \pm 0,8$	$57,4 \pm 1,0$	$59,0 \pm 1,8$	-	-
Число экземпляров	-	1	19	26	39	28	18	9	-	-
Йокостровская Имандра										
J	$1,56 \pm 0,03$	$1,39 \pm 0,04$	$1,49 \pm 0,05$	$1,62 \pm 0,02$	$1,63 \pm 0,01$	$1,69 \pm 0,02$	$1,74 \pm 0,03$	$1,75 \pm 0,07$	$1,84 \pm 0,14$	$1,71$
B	$1,06 \pm 0,06$	$0,95 \pm 0,01$	$0,97 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,01$	$0,99 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,01$	$0,97 \pm 0,03$	$0,99 \pm 0,15$	$0,97$
br	$38,9 \pm 0,0$	$43,4 \pm 0,8$	$47,0 \pm 0,9$	$51,8 \pm 0,4$	$52,5 \pm 0,3$	$53,6 \pm 0,3$	$56,0 \pm 0,6$	$58,2 \pm 1,2$	$58,8 \pm 5,9$	$53,2$
Число экземпляров	2	18	22	107	156	100	39	11	2	1
Большая Имандра										
J	-	-	$1,56 \pm 0,06$	$1,60 \pm 0,05$	$1,67 \pm 0,05$	$1,82 \pm 0,09$	$1,60 \pm 0,10$	$1,77 \pm 0,07$	-	-
B	-	-	$1,02 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,03$	$0,99 \pm 0,05$	$0,95 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,02$	$0,95 \pm 0,06$	-	-
br	-	-	$47,4 \pm 0,6$	$50,1 \pm 2,0$	$52,4 \pm 1,0$	$55,4 \pm 1,9$	$55,0 \pm 1,6$	$57,5 \pm 0,2$	-	-
Число экземпляров	-	-	4	4	12	7	7	2	-	-

(табл. 4). Эти изменения происходят из-за различного роста переднего и заднего секторов чешуи сига в разном возрасте. Так, передний сектор чешуи, включающий передний и передний диагональный радиусы, относительно длины тела (AC) с возрастом увеличивается; задний сектор, включающий, в нашем случае, измерения заднего радиуса, – уменьшается ($p > 0,95$) (табл. 5); боковой сектор чешуи сига, включающий боковой радиус, с возрастом увеличивается относительно длины тела ($p > 0,95$) (см. табл. 5). Описанные закономерности иногда не прослеживаются у сигов старшевозрастных групп ЙИ (8+ и 9+) и БоИ (6+ и 7+), что, возможно, связано с небольшим количеством особей в представленных возрастных группировках.

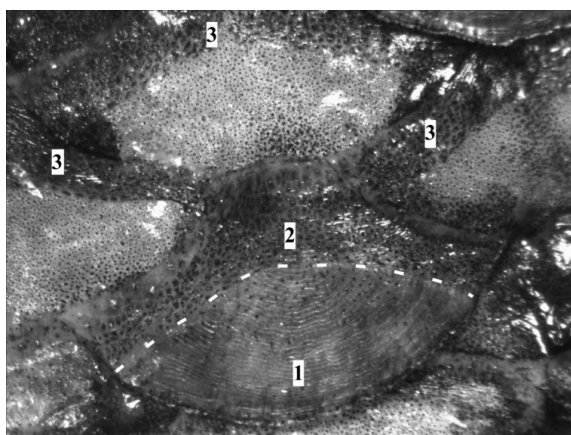


Рис. 6. Расположение чешуи в чешуйном кармане малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Йокостровская Имандра в возрасте 6+ ($AC = 464,0$ мм), 2012 г. 1 – задний (каудальный) сектор чешуи, 2 – чешуйный карман, 3 – чешуйные карманы прилегающих чешуй. Увеличение: ок. 10 $\times$, об. 1 $\times$

В результате роста рыбы увеличивается поверхность, которую надо покрыть чешуей, что обуславливает увеличение переднего сектора чешуи, располагающегося внутри чешуйного кармана. В нашем случае это можно отнести и к боковому сектору, расположенному внутри чешуйного кармана (рис. 6). Рост разных частей чешуи может зависеть и от степени развития эпидермиса вне чешуйного кармана [Чернова, Дгебуадзе, 2008].

Несмотря на изменения роста секторов чешуи, форма чешуи (B) сигов остается постоянной на протяжении всей жизни рыб, то есть пропорции продольного диаметра чешуи к поперечному диаметру с возрастом практически не меняются (см. табл. 4).

Уточнение методики обратных расчетов длины

В основе обратных расчетов длины лежит утверждение о наличии связи между длиной тела и размерами чешуи. У сигов Имандры зависимость между длиной тела (AC) и различными радиусами чешуи (передним, передним диагональным, боковым и задним) лучше описывается уравнением степенной функции (табл. 6). У сигов всех возрастов число годовых колец одно и то же по разным радиусам чешуи. Для обратных расчетов мы выбирали передний диагональный радиус, так как по нему регрессия длины лучше описывается уравнением степенной функции (см. табл. 6). Анализ структуры чешуи также показал, что по этому радиусу возможно более четкое фиксирование годовых зон у исследуемых рыб.

Таблица 5. Изменение величины переднего, переднего диагонального, бокового и заднего радиусов чешуи относительно длины тела с возрастом (AC), %, малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus*, обитающего в различных плесах оз. Имандра, 2011–2013 гг.

Радиус чешуи	Возраст, лет									
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
Бабинская Имандра										
Передний	-	0,70	0,74 ± 0,04	0,78 ± 0,03	0,92 ± 0,02	0,93 ± 0,03	1,02 ± 0,05	1,07 ± 0,06	-	-
Передний диагональный	-	0,85	0,86 ± 0,03	0,87 ± 0,03	1,00 ± 0,02	1,01 ± 0,04	1,09 ± 0,05	1,15 ± 0,08	-	-
Боковой	-	0,85	0,79 ± 0,02	0,81 ± 0,04	0,85 ± 0,02	0,85 ± 0,02	0,86 ± 0,03	0,91 ± 0,02	-	-
Задний	-	0,85	0,81 ± 0,02	0,80 ± 0,02	0,77 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02	-	-
Число экземпляров	-	1	19	26	39	28	18	9	-	-
Йокостровская Имандра										
Передний	0,61 ± 0,01	0,61 ± 0,03	0,71 ± 0,03	0,84 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,98 ± 0,02	1,02 ± 0,06	1,07 ± 0,21	0,91
Передний диагональный	0,69 ± 0,01	0,77 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,93 ± 0,01	0,94 ± 0,01	1,00 ± 0,01	1,07 ± 0,02	1,13 ± 0,04	1,14 ± 0,16	1,02
Боковой	0,74 ± 0,02	0,73 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,83 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,89 ± 0,02	0,90 ± 0,04	0,99 ± 0,06	0,89
Задний	0,95 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,78 ± 0,01	0,77 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,72 ± 0,02	0,77 ± 0,06	0,80
Число экземпляров	2	18	22	107	156	100	39	11	2	1
Большая Имандра										
Передний	-	-	0,74 ± 0,04	0,86 ± 0,06	0,88 ± 0,04	1,02 ± 0,09	0,89 ± 0,08	1,02 ± 0,04	-	-
Передний диагональный	-	-	0,83 ± 0,03	0,96 ± 0,04	1,02 ± 0,04	1,16 ± 0,06	0,98 ± 0,05	1,16 ± 0,08	-	-
Боковой	-	-	0,77 ± 0,03	0,84 ± 0,02	0,87 ± 0,04	0,99 ± 0,03	0,83 ± 0,03	0,98 ± 0,10	-	-
Задний	-	-	0,82 ± 0,03	0,79 ± 0,03	0,79 ± 0,02	0,81 ± 0,03	0,72 ± 0,03	0,75 ± 0,03	-	-
Число экземпляров	-	-	4	4	12	7	7	2	-	-

Таблица 6. Коэффициенты детерминации, определяющие степенную зависимость между длиной тела (AC), мм, и размерами чешуи по различным радиусам малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus*, обитающего в различных плесах оз. Имандра, 2011–2013 гг.

Радиусы	R^2 при линейной зависимости	R^2 при степенной зависимости	Число экземпляров
Бабинская Имандра			
Передний	0,75	0,77	140
Передний диагональный	0,75	0,78	140
Боковой	0,71	0,75	140
Задний	0,75	0,77	140
Йокостровская Имандра			
Передний	0,73	0,76	456
Передний диагональный	0,74	0,77	456
Боковой	0,69	0,73	456
Задний	0,70	0,73	456
Большая Имандра			
Передний	0,55	0,63	33
Передний диагональный	0,68	0,74	33
Боковой	0,63	0,64	33
Задний	0,62	0,65	33

Линия регрессии длины по переднему диагональному радиусу чешуи у всех исследуемых группировок сига не проходит через начало координат, поэтому для обратных расчислений длины рыб предпочтительнее использовать формулу Р. Ли [Брюзгин, 1969; Мина, 1981]. Для обратных расчислений длины сигов из оз. Имандра

мы логарифмировали уравнение степенной функции $L = a \cdot R^b$, получали $-\ln L = \ln a + b \cdot \ln R$ и расчисляли по Ли, но вместо абсолютных значений переменных брали их логарифмы: $\ln L_i = \ln a + \ln R_i / \ln R \cdot (\ln L - \ln a)$.

Заключение

Эвтрофикация и неблагоприятный бактериологический режим вод Йокостровской Имандры приводит к снижению иммунитета у рыб и выраженным воспалительным заболеваниям их кожных покровов, что проявляется в ерошении чешуи и, возможно, является причиной высокого процента рыб с регенерирующей чешуей. Отсутствие такой картины у сигов из наиболее антропогенно-трансформированного плеса Большой Имандры, вероятно, вызвано токсичностью водной среды, обусловленной высокими концентрациями тяжелых металлов, подавляющих рост и размножение условно-патогенных микроорганизмов.

Морфология и размерно-возрастные изменения нормально структурированной чешуи у малотычинковых сигов из разных плесов не различались. Различные сектора данной минерализованной структуры в течение жизни у исследуемых рыб относительно длины тела (AC) растут неодинаково: передний и боковой сек-

тора чешуи увеличиваются с возрастом, задний сектор – уменьшается; форма чешуи остается постоянной.

Для обратных расчислений длины (АС) малотычинковых сигов из всех участков оз. Имандра рекомендуется снимать размеры годовых колец с переднего диагонального радиуса чешуи. Предпочтительно использовать для обратных расчислений длины рыб формулу Р. Ли [Брюзгин, 1969; Мина, 1981].

Литература

- Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра // Отв. ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.
- Брюзгин В. Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. Киев: Наукова думка, 1969. 188 с.
- Беляева Г. В., Чижигов В. В., Воробьева Д. Г., Дольник Т. В., Косинова Т. Р. Комплексное изучение и охрана оз. Имандра: науч.-исслед. отчет // Фонды КНЦ РАН. Апатиты, 1972. 339 с.
- Владимирская М. И. Сиги бассейна оз. Имандра // Вопр. ихтиологии. 1956. № 6. С. 136–148.
- Галкин Г. Г. Атлас чешуи пресноводных костистых рыб // Изв. Всесоюз. НИИ озерн. и речн. рыб. хоз-ва, 1958. Т. 46. 105 с.
- Галкин Г. Г., Колюшев А. А., Покровский В. В. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1966. С. 177–193.
- Дгебуадзе Ю. Ю. Рост леща в водоемах разных широт // Изменчивость рыб пресноводных экосистем. М.: Наука, 1979. С. 74–92.
- Зубова Е. М. Рост сига губы Молочная плеса Бабинская Имандра // Актуальные вопросы рационального использования водных биологических ресурсов: мат-лы Первой науч. школы молодых учен. и спец-тов по рыб. хоз-ву и экологии, посвященной 100-летию со дня рождения проф. П. А. Моисеева. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 365.
- Зубова Е. М., Кашулин Н. А. Особенности и закономерности темпа роста сига Бабинской Имандры в различных условиях антропогенной нагрузки // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Тр. междунар. науч.-практ. конф. Т. 3. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. С. 109–114.
- Кашулин Н. А., Лукин А. А., Амундсен П. А. Рыбы пресноводных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 142 с.
- Кашулин Н. А., Даувадьер В. А., Денисов Д. Б., Валькова С. А., Вандыш О. И., Терентьев П. М. Современные проблемы пресноводных ресурсов Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: сб. науч. статей. Часть 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. С. 235–239.
- Крогиус Ф. В. Предварительный отчет о работе экспедиции на Умбозере и оз. Имандра летом 1930 г. // Тр. Ленингр. науч.-исслед. ихтиол. ин-та, 1931. С. 13–25.
- Лукин А. А., Шарова Ю. Н., Прищепа Б. Ф. Влияние промысла на состояние популяций сига *Coregonus lavaretus* L. в оз. Имандра // Вопр. ихтиологии. 2006. Т. 46, № 5. С. 383–391.
- Мина М. В. Задачи и методы изучения рыб в природных условиях // В кн.: Современные проблемы ихтиологии. М.: Наука, 1981. С. 177–195.
- Моисеенко Т. И. Влияние на рыб загрязнения субарктического водоема (на примере оз. Имандра): дис. ... канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ, 1983. 228 с.
- Моисеенко Т. И. Закисление и загрязнение тяжелыми металлами поверхностных вод Кольского Севера. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1991. 47 с.
- Моисеенко Т. И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории Шварца) // Экология. 2000. № 6. С. 463–313.
- Моисеенко Т. И. Изменение стратегии жизненного цикла рыб под воздействием хронического загрязнения вод // Экология. 2002. № 1. С. 50–60.
- Моисеенко Т. И., Лукин А. А. Патологии рыб в загрязняемых водоемах Субарктики и их диагностика // Вопр. ихтиологии. 1999. Т. 39, № 4. С. 535–547.
- Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 219 с.
- Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-ть, 1966. 376 с.
- Решетников Ю. С. Особенности роста и созревания сигов в водоемах Севера // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. М.: Наука, 1966. С. 93–155.
- Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.
- Решетников Ю. С., Терещенко В. Г., Лукин А. А. Динамика рыбной части сообщества в изменяющихся условиях обитания (на примере оз. Имандра) // Рыбное хоз-во. 2011. № 6. С. 48–51.
- Смирнов В. В., Смирнова-Залуми Н. С. Формирование годовых зон роста на чешуе байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* // Вопросы ихтиологии. 1993. Т. 33, № 1. С. 121–129.
- Черешнев И. А., Скопец М. Б. Новые данные по биологии омуля *Coregonus subautumnalis* бассейна реки Пенжины // Вопросы ихтиологии. 1992. Т. 32, № 2. С. 42–52.
- Чернова О. Ф., Дгебуадзе Ю. Ю. Архитектоника чешуи костистых рыб и ее диагностическое значение. М.: Наука, 2008. 136 с.
- Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 164 с.
- Muir A., Haas T. Manual of standart methods for the Chippewas of Nawash calcified structure analysis facility // Chippewas of Nawash First Nation, Fish Assessment Program. Canada. 2003. 59 p.
- Siwertsson A., Knudsen R., Amundsen P.-A. Temoral stability in gill raker numbers of subarctic European whitefish populations // Advanc. Limnol. 2008. N 63. 229–240 p.

Smolar I., Bromage T. Discrete model of fish scale incremental pattern: a formalization of the anisotropic structure // ICES journal of marine science. 2004. Vol. 61. 992–1003 p.

Van Oosten J. The whitefishes (*Coregonus clupeaformis*). A study of the scales of whitefishes of known ages // Zoologica. 1923. Vol. II, N 17. 381–412 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зубова Елена Михайловна

аспирант, младший научный сотрудник
лаб. водных экосистем
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская обл., 184209
эл. почта: zubova@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 74964

Zubova, Elena

Institute of the North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Akademgorodok, 184209 Apatity,
Murmansk Region, Russia
e-mail: zubova@inep.ksc.ru
tel.: (81555) 74964

Кашулин Николай Александрович

зам. директора по научной работе, зав. лаб. водных
экосистем, д. б. н., проф.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область, 184209
эл. почта: nikolay@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 74964

Kashulin, Nikolay

Institute of the North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,
Murmansk Region, Russia
e-mail: : nikolay@inep.ksc.ru
tel.: (81555) 74964