

ГИДРОБИОЛОГИЯ И ИХТИОЛОГИЯ

УДК 597.553.2.574.3

К МЕТОДИКЕ РАСЧИСЛЕНИЯ ТЕМПА РОСТА СИГА *COREGONUS LAVARETUS* (L.) ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ*

Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин, П. М. Терентьев

*Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН*

Для различных экологических форм сига водоемов Мурманской области проведен подробный морфологический анализ регистрирующей минерализованной структуры – чешуи; уточнена и оптимизирована методика обратного расчисления длины рыб по чешуе. Показана неравномерность относительной скорости роста различных секторов чешуи в течение жизни при постоянстве ее формы. Для обратных расчислений длины рыб рекомендовано использовать передний диагональный радиус чешуи.

Ключевые слова: сиг *Coregonus lavaretus* (L.); оз. Имандра; озера системы р. Пасвик; чешуя; обратные расчисления длины.

E. M. Zubova, N. A. Kashulin, P. M. Terentjev. GO TO THE METHOD OF GROWTH RATE BACK-CALCULATION OF WHITEFISH *COREGONUS LAVARETUS* (L.) IN RESERVOIRS OF NORTHERN FENNO-SCANDIA

For different morphs of whitefish in waters of the Murmansk region morphological detailed analysis of the recording and mineralized structures (scale) have been conducted, and the method of length back-calculation of the fish on the scale have been optimized. This paper shows irregularity of relative growth of different scale sectors throughout the life of the fish at constant scale form. Anterior diagonal radius of the scale is recommended for back-calculations of fish body length.

Key words: whitefish *Coregonus lavaretus* (L.); lake Imandra; lakes of Pasvik river system; scale; back-calculated length.

* Материалы были представлены на V Международной конференции молодых ученых «Водные ресурсы: изучение и управление» (Лимнологическая школа-практика) «Water Resources: Research and Management» (WRRM)

Введение

Познание механизмов регуляции роста рыб и выявление факторов, определяющих его темп, позволяет использовать параметры роста в биоиндикации состояния окружающей среды, дает возможность прогнозировать рыбопродуктивность водоемов [Никольский, 1974; Кузнецова, 2003], служит основой при разработке принципов рационального использования и охраны рыбных ресурсов. Линейные размеры, в частности длина особи, – более стабильный и удобный показатель, нежели вес [Мина, Клевезаль, 1976], а обратные расчисления длины необходимы для реконструкции его показателей в течение жизни особи и уменьшения ошибки, связанной с различиями сезонных приростов последнего года [Зиновьев, Мандрица, 2003].

Чешуя, как регистрирующая структура, наиболее часто используется для обратных расчислений длины у рыб Северного полушария [Решетников, 1966, 1980; Черешнев, Скопец, 1992; Kahilainen et al., 2003; Тягун, 2004; Заварзина, 2005; Зиновьев, 2005; Зубова, 2015; Зубова и др., 2015 и др.]. Это требует подробного

изучения ее морфологии и размерно-возрастной изменчивости [Вовк, 1956]. Для исследования темпа роста рыб необходим более точный выбор метода обратных расчислений по чешуе, объективно отражающий линейные показатели рыб каждой возрастной группировки [Брюзгин, 1969; Мина, 1973, 1981].

В настоящей работе представлены результаты исследования морфологии чешуи, уточнена и оптимизирована методика обратного расчисления длины по чешуе у сига *Coregonus lavaretus* (L.) оз. Имандра и озер системы р. Пасвик (Виртуовошъяур и Куэтсъярви). Широко распространенный в водоемах Мурманской области сиг в силу своих биологических особенностей многие годы используется как тест-объект ихтиологического мониторинга [Моисеенко, 1991, 2000, 2002; Кашулин, 1999; Кашулин и др., 1999; Шарова, Лукин, 2000 и др.]. При описании популяционных характеристик сига в условиях антропогенного загрязнения оз. Имандра и водоемов системы р. Пасвик большое внимание всегда уделялось изменению ростовых характеристик рыб [Моисеенко, 1997, 2000, 2002; Кашулин, 1999, 2004; Кашулин и др., 1999]. Было показано, что одной из

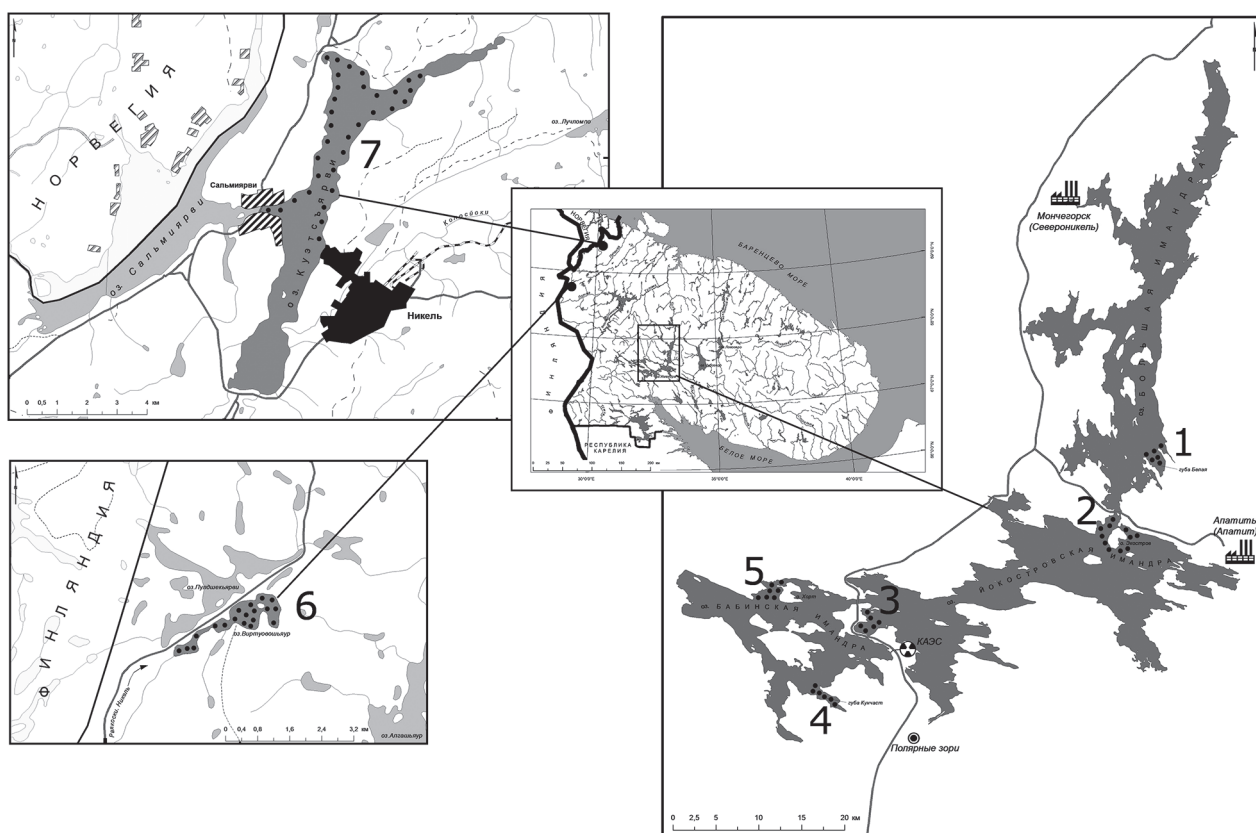


Рис. 1. Места сбора ихтиологического материала (●) в 2011–2013 гг.: оз. Имандра (1 – губа Белая и район о. Могильный, 2 – пролив между м. Кукисьярк и о. Большой Йокостровский, 3 – пролив Узкая Салма, 4 – район о. Хорт, 5 – губа Кунчаст); водоемы системы р. Пасвик (6 – оз. Виртуовошъяур, 7 – оз. Куэтсъярви)

Таблица 1. Характеристика использованного материала

Исследуемый водоем		Период исследований	Кол-во экз.
Оз. Имандра	Плес Большая Имандра (губа Белая, остров Могильный)	сентябрь–октябрь 2012–2013 гг.	47
	Плес Йокостровская Имандра (пролив Узкая Салма, остров Большой Йокостровский)	август–сентябрь, 2011 г., ежемесячно с июля по апрель 2012–2013 гг.	460
	Плес Бабинская Имандра (губа Кунчаст, остров Хорт)	август–сентябрь 2011 г.	140
Система р. Пасвик	Оз. Виртуовошъяур	август 2013 г.	101
	Оз. Куэтсъярви	июль–сентябрь 2012 г.	402

реакций сига на изменение условий обитания в сильно загрязняемых участках оз. Имандра (плесе Большая Имандра) и водоемах системы р. Пасвик (оз. Куэтсъярви) является изменение скорости роста и полового созревания рыб. Методические особенности обратных расчетов размерных характеристик сига исследуемых водоемов не приводились.

Материалы и методы

Изучение роста сига проводилось в рамках комплексных исследований внутренних водоемов Мурманской области в 2011–2013 гг. Они сосредотачивались на водосборе самого крупного озера области – Имандры (880 км²) (бассейн Белого моря) и пограничной с Норвегией озерно-речной системы Пасвик (бассейн Баренцева моря). Районы исследований – три плеса оз. Имандра (Большая Имандра, Йокостровская Имандра и Бабинская Имандра) и озера системы р. Пасвик (Виртуовошъяур – верхнее течение реки, Куэтсъярви – нижнее течение реки) (рис. 1; табл. 1). Во всех исследуемых водоемах рыбу отлавливали ставными жаберными донными сетями из нейлонового монофиламента 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 ≥ 5 см. В литоральной зоне (на глубине 1,5–3 м) устанавливалось по 1–2 сети перпендикулярно берегу в местах с песчано-гравийными отмелями и крупными валунными отложениями. В профундальной зоне с глубинами более 18 м использовалось до 10 сетей в один порядок. В пелагической зоне водоема для отбора ихтиологического материала применялись плавные мультиразмерные сети высотой 3 м. Обработка материала проводилась по стандартной методике [Правдин, 1966]. Массу рыб определяли с точностью до 1 г, длину по Смитту (АС) измеряли с точностью до 1 мм. Для выделения внутривидовых форм у исследуемых сигов подсчитывали число тычинок на первой

жаберной дуге [Решетников, 1980]. Чешуя для исследования всегда бралась с одного и того же участка – под передней частью спинного плавника [Зиновьев, Мандрица, 2003]. У рыбы для определения возраста просматривалось под биноклем 4–6 чешуй (годовые кольца просматривались по всем секторам чешуи), после чего выбиралась чешуя наиболее правильной формы и исследовались ее морфологические особенности. Для этого проводились дополнительные измерения с помощью окуляр-микрометра ее продольного и поперечного диаметров, а также 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. На основе этих измерений были определены: J – относительный размер чешуи, B – форма (ширина) чешуи и br – положение ядра чешуи [Чернова, Дгебуадзе, 2008]. Для описания возрастных изменений секторов чешуи сига (переднего, бокового и заднего) использовались их значения в процентах от длины тела (АС) [Вовк, 1956].

Результаты и обсуждение

Сиг в оз. Имандра представлен двумя экологическими формами: малотычинковой, обитающей во всех плесах, и среднетычинковой – малочисленной и приуроченной лишь к северному плесу Большая Имандра. Число тычинок у малотычинковой формы варьирует от 15 до 30 и составляет в среднем для озера $23 \pm 0,1$; у среднетычинковой формы – от 31 до 43, в среднем $38 \pm 3,4$. Из-за небольшого числа особей среднетычинкового сига (17 экземпляров) далее в работе будут приводиться данные только по малотычинковому сигу Имандры. В оз. Виртуовошъяур системы р. Пасвик сиг был представлен малотычинковой формой с числом тычинок на первой жаберной дуге от

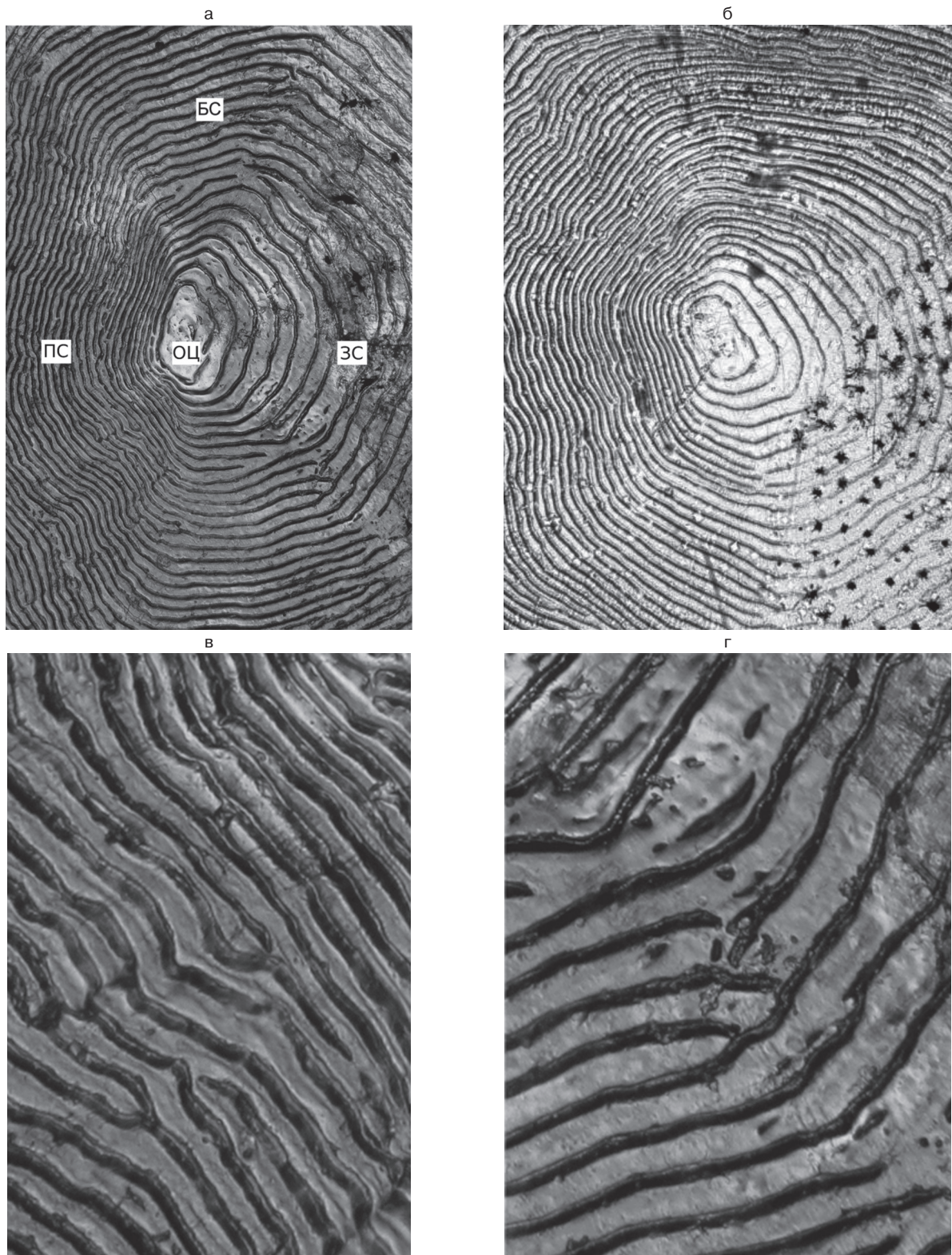


Рис. 2. Строение чешуи малотычинкового сига плеса Йокостровская Имандра оз. Имандра в возрасте 3+ (AC = 265 мм) (а) и среднетычинкового сига оз. Куэтсьярви в возрасте 3+ (AC = 145 мм) (б); удвоение склеритов на переднем секторе чешуи (в) и «обрывание» склеритов на границе бокового и заднего секторов чешуи (г) малотычинкового сига плеса Йокостровская Имандра оз. Имандра в возрасте 3+ (AC = 265 мм); ОЦ – область центра, ПС – передний сектор, БС – боковой сектор, ЗС – задний сектор. Увеличение: а, б – ок. 10 ×, об. 5 ×; в, г – ок. 10 ×, об. 20 ×

Таблица 2. Изменение относительного размера чешуи (J), %, относительного положения ядра чешуи (br), %, и формы чешуи (B) с возрастом у сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра и водоемов системы р. Пасвик, 2011–2013 гг.

Показатель морфологии чешуи	Возраст, лет													
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	14+
Оз. Имандра, малотычинковый сиг														
J	1,56±0,03	1,39±0,04	1,52±0,03	1,62±0,02	1,65±0,01	1,70±0,02	1,73±0,03	1,77±0,05	1,84±0,14	1,71	-	-	-	-
br	38,9±0,0	43,5±0,8	47,2±0,7	51,5±0,4	52,8±0,3	53,9±0,4	56,3±0,5	58,3±0,9	58,8±5,9	53,2	-	-	-	-
B	1,06±0,01	0,95±0,01	0,97±0,01	0,98±0,01	1,01±0,02	1,00±0,01	0,99±0,01	0,97±0,02	0,99±0,15	0,97	-	-	-	-
Кол-во экз.	2	19	45	137	207	135	64	22	2	1	-	-	-	-
Оз. Виртуовшьяур, малотычинковый сиг														
J	1,34	1,54±0,13	1,62±0,03	1,49±0,05	1,41±0,04	1,46±0,05	1,68±0,08	1,54±0,07	1,78±0,01	1,73±0,01	1,84	1,80	2,09	1,92±0,16
br	23,81	44,7±5,3	49,0±2,6	44,7±1,8	41,4±1,8	43,6±1,9	49,6±4,7	43,1±2,3	49,9±3,9	47,7±2,1	47,1	55,6	61,1	48,9±1,1
B	0,62	1,01±0,10	1,08±0,05	0,99±0,02	0,92±0,02	0,99±0,03	0,93±0,04	0,90±0,02	0,99±0,08	0,91±0,02	0,84	1,00	1,00	0,87±0,02
Кол-во экз.	1	5	10	21	22	22	22	7	3	6	1	1	1	2
Оз. Куэтъярви, малотычинковый сиг														
J	-	1,40±0,17	1,43±0,05	1,56±0,04	1,64±0,03	1,68±0,04	1,81±0,04	1,91±0,12	1,80±0,04	1,77±0,23	1,81	-	-	-
br	-	43,9±3,0	43,8±1,2	46,9±0,7	49,7±0,6	52,2±0,9	52,8±0,9	57,7±1,3	52,0±0,01	53,5±5,1	56,7	-	-	-
B	-	1,03±0,11	0,98±0,03	0,98±0,02	0,96±0,02	0,98±0,03	0,97±0,03	1,03±0,11	0,95±0,03	1,05±0,08	1,00	-	-	-
Кол-во экз.	-	4	15	38	47	24	9	4	2	2	1	-	-	-
Оз. Куэтъярви, среднетычинковый сиг														
J	-	1,37±0,04	1,45±0,02	1,58±0,03	1,64±0,03	1,68±0,03	1,75±0,07	1,67±0,10	-	-	-	-	-	-
br	-	42,1±0,7	44,6±0,5	47,0±0,6	48,0±0,6	49,3±0,6	52,4±1,7	52,8±4,5	-	-	-	-	-	-
B	-	0,95±0,03	1,00±0,02	0,96±0,02	0,98±0,02	0,97±0,02	0,94±0,04	0,91±0,03	-	-	-	-	-	-
Кол-во экз.	-	41	76	57	46	48	5	3	-	-	-	-	-	-

Примечание. Здесь и в табл. 3 приведены средние значения и их ошибка.

Таблица 3. Изменение величины передней, переднего диагонального, бокового и заднего радиусов чешуи относительно длины тела (АС), %, с возрастом у сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра и водоемов системы р. Пасвик, 2011–2013 гг.

Радиус чешуи	Возраст, лет													
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	14+
Оз. Имандра, малотычинковый сиг														
Передний	0,61 ± 0,01	0,62 ± 0,03	0,78 ± 0,03	0,85 ± 0,01	0,89 ± 0,01	0,94 ± 0,01	1,01 ± 0,02	1,07 ± 0,04	1,07 ± 0,21	0,91	-	-	-	-
Передний диагональный	0,69 ± 0,01	0,77 ± 0,03	0,85 ± 0,02	0,92 ± 0,01	0,97 ± 0,01	1,01 ± 0,01	1,07 ± 0,02	1,14 ± 0,03	1,15 ± 0,16	1,02	-	-	-	-
Боковой	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,02	0,78 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,84 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,88 ± 0,01	0,91 ± 0,02	0,99 ± 0,06	0,89	-	-	-	-
Задний	0,95 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,80 ± 0,01	0,78 ± 0,01	0,77 ± 0,01	0,78 ± 0,01	0,75 ± 0,01	0,73 ± 0,02	0,77 ± 0,07	0,80	-	-	-	-
Кол-во экз.	2	19	45	137	207	135	64	22	2	1	-	-	-	-
Оз. Куэтъярви, малотычинковый сиг														
Передний	-	0,63 ± 0,12	0,63 ± 0,03	0,73 ± 0,02	0,82 ± 0,02	0,88 ± 0,03	0,96 ± 0,03	1,11 ± 0,09	0,94 ± 0,02	0,96 ± 0,21	1,03	-	-	-
Передний диагональный	-	0,71 ± 0,09	0,76 ± 0,04	0,86 ± 0,02	0,94 ± 0,02	1,00 ± 0,03	1,07 ± 0,04	1,26 ± 0,08	1,09 ± 0,05	0,99 ± 0,15	1,12	-	-	-
Боковой	-	0,69 ± 0,02	0,74 ± 0,03	0,80 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,94 ± 0,02	0,94 ± 0,06	0,94 ± 0,01	0,84 ± 0,05	0,91	-	-	-
Задний	-	0,77 ± 0,05	0,80 ± 0,03	0,82 ± 0,02	0,82 ± 0,02	0,80 ± 0,01	0,85 ± 0,02	0,80 ± 0,03	0,85 ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,79	-	-	-
Кол-во экз.	-	4	15	38	47	24	9	4	2	2	1	-	-	-
Оз. Куэтъярви, среднетычинковый сиг														
Передний	-	0,58 ± 0,02	0,64 ± 0,02	0,75 ± 0,02	0,79 ± 0,02	0,83 ± 0,02	0,92 ± 0,05	0,89 ± 0,13	-	-	-	-	-	-
Передний диагональный	-	0,72 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,87 ± 0,01	0,91 ± 0,02	0,96 ± 0,02	1,06 ± 0,04	1,07 ± 0,13	-	-	-	-	-	-
Боковой	-	0,73 ± 0,02	0,73 ± 0,01	0,82 ± 0,01	0,84 ± 0,02	0,87 ± 0,01	0,94 ± 0,03	0,92 ± 0,09	-	-	-	-	-	-
Задний	-	0,79 ± 0,02	0,80 ± 0,02	0,83 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,83 ± 0,04	0,78 ± 0,03	-	-	-	-	-	-
Кол-во экз.	-	41	76	57	46	48	5	3	-	-	-	-	-	-
Оз. Виртуовшьяур, малотычинковый сиг														
Передний	0,52	0,68 ± 0,08	0,73 ± 0,02	0,68 ± 0,04	0,68 ± 0,04	0,64 ± 0,03	0,90 ± 0,09	0,74 ± 0,06	0,90 ± 0,06	0,91 ± 0,08	1,03	1,00	1,28	1,08 ± 0,09
Передний диагональный	1,13	0,78 ± 0,06	0,85 ± 0,03	0,82 ± 0,03	0,82 ± 0,03	0,82 ± 0,04	1,04 ± 0,04	0,93 ± 0,04	0,97 ± 0,05	1,07 ± 0,07	1,19	1,07	1,45	1,24 ± 0,09
Боковой	1,08	0,78 ± 0,07	0,76 ± 0,04	0,76 ± 0,02	0,76 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,85 ± 0,02	0,90 ± 0,03	0,95 ± 0,04	1,10	0,90	1,04	1,10 ± 0,12
Задний	0,82	0,86 ± 0,05	0,88 ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,80 ± 0,02	0,89 ± 0,05	0,82 ± 0,03	0,81	0,80	0,81	0,84 ± 0,07
Кол-во экз.	1	5	10	21	22	22	22	7	3	6	1	1	1	2

Таблица 4. Коэффициенты детерминации (R^2), определяющие линейную и степенную зависимость между длиной тела (AC), мм, и размерами чешуи, ед. ок.-микрометра по различным радиусам чешуи, и коэффициенты регрессии при степенной зависимости (a , b) между длиной тела (AC), мм, и размерами чешуи, ед. ок.-микрометра по различным радиусам чешуи, у малотычинкового сига плеса Йокостровская Имандра оз. Имандра, 2013 г.

Радиусы	R^2 при линейной зависимости	R^2 при степенной зависимости	Коэффициенты регрессии при степенной зависимости, a / b	Кол-во экз.
Передний	0,93	0,94	36,22 / 0,62	26
Передний диагональный	0,90	0,93	36,26 / 0,62	26
Боковой	0,90	0,92	28,20 / 0,71	26
Задний	0,72	0,77	14,51 / 0,96	26

Таблица 5. Расчисленная длина (AC), мм, по четырем радиусам чешуи и наблюдаемая длина (AC), мм, у малотычинкового сига плеса Йокостровская Имандра оз. Имандра, 2013 г.

Возраст, годы, лет	Расчисленная длина, мм, по четырем радиусам чешуи				Наблюдаемая длина, мм	
	Передний	Передний диагональный	Боковой	Задний	-	Со смещением на 1 год
1	108 ± 2,5 (26)	115 ± 2,4 (26)	115 ± 2,4 (26)	105 ± 2,7 (26)	146 ± 1,9 (4)	116 ± 2,5 (2)
2	149 ± 4,4 (22)	154 ± 4,4 (22)	158 ± 3,9 (22)	156 ± 3,4 (22)	185 ± 3,3 (4)	146 ± 1,9 (4)
3	179 ± 7,1 (18)	185 ± 6,0 (18)	191 ± 5,5 (18)	194 ± 6,3 (18)	246 ± 7,8 (4)	185 ± 3,3 (4)
4	200 ± 6,3 (14)	206 ± 4,7(14)	211 ± 4,7 (14)	220 ± 5,9 (14)	256 ± 1,2 (3)	246 ± 7,8 (4)
5	233 ± 6,4 (11)	236 ± 5,1 (11)	242 ± 5,3 (11)	248 ± 6,5 (11)	275 ± 2,9 (3)	256 ± 1,2 (3)
6	262 ± 4,5 (8)	268 ± 5,3 (8)	270 ± 6,6 (8)	273 ± 7,7 (8)	280 ± 1,8 (4)	275 ± 2,9 (3)
7	295 ± 6,7 (4)	296 ± 6,7 (4)	302 ± 6,8 (4)	299 ± 8,9 (4)	316 ± 15,5 (2)	280 ± 1,8 (4)
8	308 ± 3,3 (2)	316 ± 4,4 (2)	326 ± 10,9 (2)	318 ± 16,1(2)	323 (1)	316 ± 15,5 (2)
9	330 (1)	338 (1)	353 (1)	347 (1)	361 (1)	323 (1)

Примечание. В таблице приведены средние значения и их ошибка, в скобках представлено кол-во экз.; в последнем столбике значение 116 ± 2,5 мм – длина (AC) сеголетков сига (0+ лет), выловленных в плесе Йокостровская Имандра оз. Имандра в сентябре 2013 г.

19 до 30 (25 ± 0,2), в оз. Куэтсъярви – двумя формами: малотычинковой и среднетычинковой с числом тычинок на первой жаберной дуге соответственно от 14 до 33 (24 ± 0,3) и от 27 до 39 (33 ± 0,2).

Малотычинковый сиг в оз. Имандра был представлен особями в возрасте от 0+ до 9+ лет, в оз. Виртуовошъяур – от 0+ до 14+ лет. В оз. Куэтсъярви малотычинковый сиг – от 1+ до 10+ лет, среднетычинковый – от 1+ до 7+ лет.

Морфология чешуи и закономерности ее размерно-возрастных изменений у различных форм сига исследуемых водоемов не различались (рис. 2, а, б). Чешуя исследуемых рыб типичная циклоидная, центральный склерит имеет овальную форму, чаще незамкнут. Склериты имеются на всей поверхности чешуи – они образуют чередующиеся комплексы из «концентрических» и следующих за ними «выклинивающихся» («срезанных») склеритов, которые формируют годовые зоны роста. Выклинивание склеритов начинается на границе бокового и заднего секторов чешуи и заканчивается на переднем секторе, поэтому здесь их большее число, что указывает на закладку и более

интенсивный их рост в базальной части с вершины чешуи [Галкин, 1958]. В переднем секторе наблюдается удвоение склеритов (рис. 2, в), склериты здесь слабоволнистые. Вдоль боковых секторов чешуи в результате утери склеритов расстояние между ними незначительно больше; гораздо большие расстояния наблюдаются между склеритами в заднем секторе, что объясняется дополнительной «потерей» некоторых склеритов на границе бокового и заднего секторов чешуи, они как бы обрываются (рис. 2, г).

Относительный размер чешуи (J) у рыб значимо увеличивается с возрастом, при этом центр чешуи (br) сдвигается к заднему краю ($P > 0,01$) (табл. 2). Эти изменения происходят из-за различного роста переднего и заднего секторов чешуи сига в разном возрасте: передний сектор чешуи, включающий передний и передний диагональный радиусы относительно длины тела, с возрастом увеличивается; задний сектор – практически не изменяется (табл. 3). Боковой сектор чешуи сига, включающий боковой радиус, с возрастом относительно длины тела увеличивается ($P > 0,01$). Форма чешуи (B) сига исследуемых водоемов остается постоянной (табл. 2).

тела (L) и размерами чешуи (R) [Чугунова, 1959; Брюзгин, 1969; Мина, 1981]. У малотычинкового сига Йокостровской Имандры зависимость между длиной тела и различными радиусами чешуи лучше описывается уравнением степенной функции, нежели линейной (табл. 4), но при разных значениях параметров линии регрессии (коэффициентов регрессии a и b) (табл. 4). Чтобы выяснить, в какой мере различия линий регрессии влияют на оценки расчисленной длины, мы сравнили расчисленные по разным радиусам оценки для одних и тех же особей. Линии регрессии длины по четырем радиусам чешуи не проходят через начало координат, поэтому для обратных расчислений длины рыб предпочтительнее использовать формулу Розы Ли [Брюзгин, 1969; Мина, 1981]. Для обратных расчислений длины малотычинкового сига мы логарифмировали уравнение степенной функции $L = a \times R^b$, получали: $\ln L = \ln a + b \times \ln R$. Расчисляли по Ли, но вместо абсолютных значений переменных брали их логарифмы: $\ln L_i = \ln a + \ln R_i / \ln R_n \times (\ln L_n - \ln a)$, где R_n – радиус чешуи данной рыбы в момент ее поимки, R_i – радиус чешуи этой особи в возрасте i лет, L_n – длина рыбы в момент поимки, L_i – длина рыбы в возрасте i лет, a – постоянная величина.

Наши результаты показали, что любой радиус чешуи может быть выбран для обратных расчислений длины сига, так как расчисленные длины по четырем радиусам на протяжении жизни значимо не различались (табл. 5). Также сравнение расчисленных оценок длины с фактическими показало, что они одинаково хорошо соответствуют по всем радиусам чешуи, но со смещением на 1 год, так как вылов исследуемых 26 экземпляров сига из Йокостровской Имандры происходил с октября по март, когда новый прирост практически завершен, но еще не сформировалось новое годовое кольцо. Из этого следует, что при сравнении фактических величин длины рыб с расчисленными надо строго учитывать сезон лова рыбы.

У сигов всех возрастов число годовых колец одно и то же по разным радиусам чешуи. Для обратных расчислений длины сига исследуемых водоемов нами рекомендуется снимать размер годовых колец с переднего диагонального радиуса чешуи. Анализ структуры чешуи показал, что по этому радиусу возможно более четкое фиксирование годовых колец у исследуемых рыб.

Установлено, что у исследуемых сигов оз. Имандра и водоемов системы реки Пасвик зависимость между длиной тела и передним диагональным радиусом хорошо описывается уравнением как степенной, так

и линейной функции (рис. 3, а–г). Отсюда находим формулу для обратного расчисления длины малотычинкового сига оз. Имандра: $\ln L_i = \ln 46,13 + (\ln L_n - \ln 46,13) \times (\ln R_i / \ln R_n)$, для малотычинкового сига оз. Виртуовошьяур: $\ln L_i = \ln 37,0 + (\ln L_n - \ln 37,0) \times (\ln R_i / \ln R_n)$ и для малотычинкового и среднетычинкового сигов оз. Куэтсьярви соответственно: $L_i = 71,47 + R_i / R_n \times (L_n - 71,47)$ и $\ln L_i = \ln 25,58 + \ln R_i / \ln R_n \times (\ln L_n - \ln 25,58)$. Учитывая время лова, мы соотнесли фактическую длину сигов с расчисленной длиной. Результаты сравнения представлены на рисунке 3 (д–з), где видно, что у сигов фактическая оценка длины хорошо соответствует расчисленной.

Выводы

Не выявлено различий в морфологии и размерно-возрастных изменениях чешуи различных форм сига исследуемых водоемов. Показано, что в течение жизни у исследуемых рыб относительный рост различных секторов данной минерализованной структуры неодинаков: передний и боковой секторы чешуи увеличиваются с возрастом, задний сектор – уменьшается; форма чешуи остается постоянной.

Для обратных расчислений длины (АС) сига может быть использован любой радиус чешуи. Рекомендуется снимать размеры годовых колец с переднего диагонального радиуса чешуи. У исследуемых сигов зависимость между длиной тела и передним диагональным радиусом одинаково хорошо описывается уравнением как степенной, так и линейной функции. Предпочтительно использовать для обратных расчислений длины рыб формулу Розы Ли.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории водных экосистем ИП-ПЭС КНЦ РАН за помощь в проведении экспедиционных работ. Особая благодарность – д. б. н. М. В. Мине (ИБР РАН) за участие в обсуждении полученных авторами результатов.

Литература

- Брюзгин В. Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. Киев: Наукова думка, 1969. 188 с.
- Галкин Г. Г. Атлас чешуи пресноводных костистых рыб // Изв. ВНИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. 1958. Т. 46. 105 с.
- Вовк Ф. И. О методике реконструкции роста рыб по чешуе // Сб. тр. биол. ст. «Борок» АН СССР. 1956. № 2. С. 351–392.
- Заварзина Н. К. О методике определения возраста и размерно-возрастных особенностях

малоротых корюшек рода *Hypomesus* острова Сахалин // Чтения памяти В. Я. Леванидова. 2005. №. 3. С. 587–593.

Зиновьев Е. А. Экология и систематика хариусовых рыб Евразии: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пермь: ПермГУ, 2004. 20 с.

Зиновьев Е. А., Мандрица С. А. Методы исследования пресноводных рыб. Пермь: ПермГУ, 2003. 113 с.

Зубова Е. М. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской Субарктики (на примере Мурманской области): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь: ПГНИУ, 2015. 28 с.

Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М. Линейный рост малотычинкового сига *Coregonus lavaretus lavaretus* (L.) (Coregonidae) Бабинской Имандры (оз. Имандра) // Биология внутренних вод. 2015. № 1. С. 81–92.

Кашулин Н. А. Теоретические основы ихтиологической биоиндикации загрязнения водоемов тяжелыми металлами: дис. ... докт. биол. наук. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 382 с.

Кашулин Н. А. Рыбы малых озер Северной Феноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. 130 с.

Кашулин Н. А., Лукин А. А., Амундсен П. А. Рыбы пресноводных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 142 с.

Кузнецова Е. Н. Рост рыб и стратегии их жизненных циклов: дис. ... докт. биол. наук. М.: ВНИРО, 2003. 330 с.

Никольский Г. В. Теория динамики стада рыб. М.: Пищ. промышл., 1974. 447 с.

Мина М. В. Рост рыб (методы исследования в природных популяциях). Рост животных. М.: ВНИТИ, 1973. С. 68–115.

Мина М. В. Задачи и методы изучения рыб в природных условиях. Современные проблемы ихтиологии. М.: Наука, 1981. С. 177–195.

Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.

Моисеенко Т. И. Закисление и загрязнение тяжелыми металлами поверхностных вод Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 1991. 47 с.

Моисеенко Т. И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 261 с.

Моисеенко Т. И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории Шварца) // Экология. 2000. № 6. С. 463–472.

Моисеенко Т. И. Изменение стратегии жизненного цикла рыб под воздействием хронического загрязнения вод // Экология. 2002. № 1. С. 50–60.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. промышл., 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.

Тягун М. Л. Изучение структуры и роста чешуи байкальского омуля (*Coregonus autumnalis migratorus* Georgi): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: Лимнол. ин-т СО РАН, 2004. 26 с.

Черешнев И. А., Скопец М. Б. Новые данные по биологии омуля *Coregonus subautumnalis* бассейна реки Пенжина // Вопросы ихтиологии. 1992. Т. 32, № 2. С. 42–52.

Шарова Ю. Г., Лукин А. А. Система воспроизводства сига *Coregonus lavaretus* в условиях многофакторного загрязнения // Вопр. ихтиологии. 2000. Т. 40, № 3. С. 425–428.

Kahilainen K., Lehtonen H., Könönen K. Consequence of habitat segregation to growth rate of two sparsely rakered whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) forms in a subarctic lake // Ecology of freshwater fish. 2003. No. 12. P. 275–285.

Поступила в редакцию 12.05.2016

References

Brjuzgin V. L. Metody izuchenija rosta ryb po cheshue, kostjam i otolitham [Methods of fish growth study based on scales, bones and otoliths]. Kiev: Naukova Dumka, 1969. 188 p.

Galkin G. G. Atlas cheshui presnovodnyh kostistyh ryb [Atlas of scales of freshwater bony fishes]. *Izv. Vses. Nil ozer. i rech. ryb. hoz-va* [Trans. of All-Union Res. Institute of Lake and River Fisheries]. 1958. Vol. 46. 105 p.

Vovk F. I. O metodike rekonstrukcii ryb po cheshue [On the scale-based reconstruction of fish]. *Cb. tr. biol. st. «Borok» AN SSSR* [Proceedings of the Borok Biol. Research Station of the USSR Academy of Sciences]. 1956. No. 2. P. 351–392.

Zavarzina N. K. O metodike opredelenija vozrasta i razmerno-vozzratsnyh osobennostyah malorotykh korjushek roda *Hypomesus* ostrova Sahalin [On the method of determining the age and size/age features of smelt

of the genus *Hypomesus* on Sakhalin Island]. *Chthenija pamjati V. Ja. Levanidova* [Readings in Memoriam of V. Ja. Levanidova]. 2005. No. 3. P. 587–593.

Zinov'ev E. A. Jekologija i sistematika hariusovyh ryb Evrazii [Ecology and systematics of Eurasian Thymallidae]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Perm': PermGU, 2004. 20 p.

Zinov'ev E. A., Mandrica S. A. Metody issledovanija presnovodnyh ryb [Methods of freshwater fish studies]. Perm': PermGU, 2003. 113 p.

Zubova E. M. Linejnyj rost evropejskogo siga *Coregonus lavaretus* (L.) v antropogenno-modificirovannyh vodoemah evropejskoj subarktiki (na primere Murmanskoj oblasti) [Linear growth in the European whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), in disturbed waters of the European Subarctic region (the case of the Murmansk Region)]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Perm': PGNIU, 2015. 28 p.

Zubova E. M., Kashulin N. A., Terent'ev P. M. Linejnyj rost malotyčinkovogo siga *Coregonus lavaretus lavaretus* (L.) (Coregonidae) Babinskoj Imandry (oz. Imandra) [Linear growth in the sparsely rakered whitefish, *Coregonus lavaretus lavaretus* (L.) (Coregonidae), in the Babinskaya Imandra (Lake Imandra)]. *Biologija vnutrennih vod* [Inland Water Biology]. 2015. No. 1. P. 81–92.

Kashulin N. A. Teoreticheskie osnovy ihtiologicheskoy bioindikacii zagrzaznenija vodoemov tjazhelymi metallami [Theoretical basis of the ichthyological bioindication of heavy metal pollution in waters]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Apatity: KSC RAS, 1999. 382 p.

Kashulin N. A. Ryby malyh ozer Severnoj Fenno-skandii v uslovijah ajerrotehnogennogo zagrzaznenija [Fish of small lakes of Northern Fennoscandia under airborne pollution]. Apatity: KSC RAS, 2004. 130 p.

Kashulin N. A., Lukin A. A., Amundsen P. A. Ryby presnovodnyh vod Subarktiki kak bioindikatory tehnogennogo zagrzaznenija [Fish of Subarctic freshwater ecosystems as bioindicators of industrial pollution]. Apatity: KSC RAS, 1999. 142 p.

Kuznecova E. N. Rost ryb i strategii ih zhiznennyh ciklov [Fish growth and life cycles strategies]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Moscow: VNIRO, 2003. 330 p.

Nikol'skij G. V. Teorija dinamiki stada ryb [The theory of fish shoal dynamics]. Moscow: Pishh. promyshl., 1974. 447 p.

Mina M. V. Rost ryb (metody issledovanija v prirodnyh populacijah) [Fish growth (research methods in natural populations)]. Rost zhivotnyh [Animal growth]. Moscow: VINITI, 1973. P. 68–115.

Mina M. V. Zadachi i metody izuchenija ryb v prirodnyh uslovijah [Tasks and methods of studying fish under natural conditions]. Sovremennye problemy ihtiologii [Topical Problems of Ichthyology]. Moscow: Nauka, 1981. P. 177–195.

Mina M. V., Klevezal' G. A. Rost zhivotnyh [Animal growth]. Moscow: Nauka, 1976. 291 p.

Moiseenko T. I. Zakislenie i zagrzaznenie tjazhelymi metallami poverhnostnyh vod Kol'skogo Severa [Acidification and heavy metal contamination of the Kola North surface waters]. Apatity: KSC RAS, 1991. 47 p.

Moiseenko T. I. Teoreticheskie osnovy normirovanija antropogennyh nagruzok na vodoemy Subarktiki: monografija [Theoretical basis of threshold value setting for human pressure on Subarctic waters]. Apatity: KSC RAS, 1997. 261 p.

Moiseenko T. I. Morfofiziologicheskie perestrojki organizma ryb pod vlijaniem zagrzaznenija (v svete teorii Shvarca) [Morphophysiological changes of fish under contamination (after Schwartz's theory)]. *Jekologija* [Ecology]. 2000. No. 6. P. 463–472.

Moiseenko T. I. Izmenenie strategii zhiznennogo cikla ryb pod vozdejstviem hronicheskogo zagrzaznenija vod [Modification of the fish life cycle strategy under the impact of chronic water pollution]. *Jekologija* [Ecology]. 2002. No. 1. P. 50–60.

Pravdin I. F. Rukovodstvo po izucheniju ryb [Guidelines on fish studies]. Moscow: Pishh. promyshl., 1966. 376 p.

Reshetnikov Ju. S. Osobennosti rosta i sozrevanija sigov v vodoemah Severa [Features of growth and maturation of whitefishes in waters of the North]. Zakonomernosti dinamiki chislennosti ryb Belogo morja i ego bassejna [Some patterns of fish abundance dynamics in the White Sea and its Drainage Basin]. Moscow: Nauka, 1966. P. 93–155.

Reshetnikov Ju. S. Jekologija i sistematika sigovyh ryb [Ecology and systematics of whitefishes]. Moscow: Nauka, 1980. 301 p.

Tjagun M. L. Izučenie struktury i rosta cheshui bajkal'skogo omulja (*Coregonus autumnalis migratorius* Georgi) [The study of scales structure and growth in the Baikal cisco (*Coregonus autumnalis migratorius* Georgi)]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk: Limnol. in-t SO RAN, 2004. 26 p.

Chereshnev I. A., Skopec M. B. Novye dannye po biologii omulja *Coregonus subautumnalis* bassejna reki Penzhina [New data on the biology of the omul, *Coregonus subautumnalis*, of the Penzhina river catchment]. *Voprosy ihtiologii* [Journal of Ichthyology]. 1992. Vol. 32, no. 2. P. 42–52.

Sharova Ju. G., Lukin A. A. Sistema vosproizvodstva siga *Coregonus lavaretus* v uslovijah mnogofaktornogo zagrzaznenija [The reproduction system of the whitefish, *Coregonus lavaretus*, under multivariate pollution]. *Vopr. Ihtiologii* [Journal of Ichthyology]. 2000. Vol. 40, no. 3. P. 425–428.

Kahilainen K., Lehtonen H., Könönen K. Consequence of habitat segregation to growth rate of two sparsely rakered whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) forms in a subarctic lake. *Ecology of freshwater fish*. 2003. No. 12. P. 275–285.

Received May 12, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зубова Елена Михайловна

научный сотрудник, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: seelewolf84@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Zubova, Elena

Institute of Industrial Ecology Problems of the North,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences
14A Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: seelewolf84@yandex.ru

Кашулин Николай Александрович

зав. лабораторией, д. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: nikolay@inep.ksc.ru

Терентьев Петр Михайлович

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: p_terentjev@inep.ksc.ru

Kashulin, Nikolai

Institute of Industrial Ecology Problems of the North,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences
14A Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: nikolay@inep.ksc.ru

Terentjev, Pyotr

Institute of Industrial Ecology Problems of the North,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences
14A Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: p_terentjev@inep.ksc.ru