

УДК 597.553.2.574.3

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

**СИГ *COREGONUS LAVARETUS* (COREGONIDAE) БАБИНСКОЙ ИМАНДРЫ
(Мурманская область, Россия)**

Аннотация

Исследовано изменение структуры популяции и темпа роста сига из фоновых участков оз.Имандра (Бабинской Имандры) в различных условиях антропогенной нагрузки (1996-1997 и 2011 гг.). Установлено снижение возрастных групп сига с достоверным увеличением его наблюдаемых размерно-весовых характеристик и расчетных характеристик длины (*AC*). Также было отмечено снижение нерестящихся рыб в популяции со смещением полового созревания самцов и самок на более ранний возраст. Описано влияние наступления полового созревания у сига на темп его роста. Изучены особенности роста сига с учетом анализа состояния отдельных организмов рыб и уровней накопления тяжелых металлов.

Ключевые слова

*фоновый район, Бабинская Имандра, сиг *Coregonus lavaretus*, структура популяции, темп роста, состояние организма рыб, уровень тяжелых металлов.*

Е.М.Zubova, P.M.Terentjev, N.A.Kashulin

**WHITEFISH *COREGONUS LAVARETUS* (COREGONIDAE)
OF THE BABINSKAYA IMANDRA (the Murmansk Region, Russia)**

Abstract

The change of population structure and growth rate of whitefish have been studied in the background regions of lake Imandra – Babinskaya Imandra in different conditions of anthropogenic environments (1996-1997 and 2011) have been studied. Reduction in the number age groups with significant increase in observed size and weight characteristics and back-calculation length (*TL*) have been found. Also reduction of spawning fish in the population with displacement of sex maturation of males and females at an earlier age have been noted. The impact of the onset of puberty in whitefish on its rate growth have been described. Regularities growth of whitefish based on the analysis of state of individual organisms fishes and levels of accumulation of heavy metals have been studied.

Key words

*background regions, Babinskaya Imandra, whitefish *Coregonus lavaretus*, population structure, growth rate, state of organisms fishes, levels of heavy metals.*

Введение

Озеро Имандра – один из крупнейших заполярных водоемов (площадь 880 км²), на водосборной территории которого расположены ряд предприятий горно-перерабатывающей и металлургической промышленности, энергетики, транспорта и их инфраструктура. Мощное многофакторное антропогенное воздействие на фоне меняющихся климатических условий обусловило изменения гидрохимических параметров водоема и трансформацию структурно-функциональной организации его экосистемы. Изменения затронули и рыбную часть населения водоема, что было показано рядом предыдущих исследований (Галкин и др., 1966; Решетников, 1980; Моисеенко, 1983, 1997, 1998, 2000, 2002; Моисеенко, Яковлев, 1990; Моисеенко, Лукин, 1999; Антропогенные.., 2002; Лукин и др., 2006; Решетников и др., 2011;

Решетников, Попова, 2012). Эти процессы имеют выраженную зональность, обусловленную сложной морфологией водоема и локализацией сточных вод, поступающими в Иmandру от различных источников. В настоящее время объемы сбросов токсичных отходов в озеро снизились, но интенсифицируются процессы эвтрофикации (Кашулин и др., 2012; Терентьев, Кашулин, 2012).

Выявление техногенной составляющей в многофакторных процессах трансформации водоема возможно лишь сравнительными методами (Кашулин и др., 1999; Кашулин, 2004). Поэтому представляется весьма актуальным изучение современного состояния ихтиофауны фоновых районов оз.Иmandра, для которых характерны минимальные уровни антропогенных воздействий. Нами было исследовано состояние рыбной части сообщества плеса Бабинская Иmandра – наиболее удаленного от индустриальных центров и не испытывающего прямого химического загрязнения. Однако начиная с 1973 г. в губу Молочная плеса сбрасываются подогретые воды Кольской АЭС, работающей по прямоточной системе охлаждения.

В доиндустриальный период состав ихтиофауны плеса Бабинская Иmandра был типичен для субарктических водоемов и включал 15 видов (Галкин и др., 1966). Также имелись свидетельства поимки в бассейне озера представителя круглоротых – сибирской миноги *Lethenteron kessleri* (Антропогенные..., 2002). Интенсивное промышленное загрязнение водоема в целом, его эвтрофикация во второй половине прошлого столетия, а также вселение крупной формы европейской корюшки *Osmerus eperlanus* привело к значительным преобразованиям облика рыбной фауны. Значительно сократилась численность арктического гольца *Salvelinus alpinus*, сиговых рыб. Численность язя *Leuciscus idus*, ранее обитаемого в озере, чрезвычайно мала и не встречается в уловах (Антропогенные..., 2002; Решетников и др., 2012; Терентьев, Кашулин, 2012). В ходе развития аквакультуры фауна рыб пополнилась двумя видами (радужная форель *Parasalmo mykiss*, обыкновенный карп *Cyprinus carpio*). Современный видовой состав рыб в районе исследований по материалам уловов насчитывает 14 видов (табл.1). При этом доминирующими в структуре сообщества в настоящее время становятся такие виды, как европейская корюшка, окунь *Perca fluviatilis*, обыкновенный ерш *Gimnocephalus cernuus*.

Данная работа посвящена изучению особенностей роста сига *Coregonus lavaretus* Бабинской Иmandры как тест-объекта ихтиологического мониторинга (Моисеенко и др., 1991) в разные периоды антропогенной трансформации водоема (1996-1997 и 2011 гг.) с учетом анализа состояния отдельных организмов рыб и уровней накопления тяжелых металлов.

Таблица 1

Видовой состав рыб в уловах плеса Бабинская Иmandра в 2011 г.

Русское название	Латинское название
1	2
Семейство лососевые	Salmonidae
Кумжа	<i>Salmo trutta</i> Linnaeus, 1758
Арктический голец	<i>Salvelinus alpinus</i> (Linnaeus, 1758)
Микижа, радужная форель	<i>Parasalmo mykiss</i> (Walbaum, 1792)
Семейство сиговые	Coregonidae

1	2
Обыкновенный сиг	<i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)
Европейская ряпушка	<i>Coregonus albula</i> (Linnaeus, 1758)
Семейство хариусовые	Thymallidae
Европейский хариус	<i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758)
Семейство корюшковые	Osmeridae
Европейская корюшка	<i>Osmerus eperlanus</i> (Linnaeus, 1758)
Семейство щуковые	Esocidae
Обыкновенная щука	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758
Семейство окуневые	Percidae
Обыкновенный ерш	<i>Gymnocephalus cernuus</i> Linnaeus, 1758
Речной окунь	<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758
Семейство налимовые	Lotidae
Налим	<i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)
Семейство карповые	Cyprinidae
Обыкновенный карп	<i>Ciprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
Обыкновенный гольян	<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)
Семейство колюшковые	Gasterosteidae
Девятииглая колюшка	<i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758)

Материал и методы

Имандра состоит из трех, в значительной мере самостоятельных, озер (плесов) – Большой, Экостровской и Бабинской Имандры, соединяющихся между собой узкими проливами. Плес Бабинская Имандра располагается в юго-западной части оз.Имандра и простирается в широтном направлении. Его акватория имеет сложную изрезанную форму (рис.1). Наибольшую площадь занимают глубины 10-15 м (25.2%) и 15-20 м (20.4%), максимальная глубина в этом плесе составляет 43.5 м (Рихтер, 1926, 1927; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные..., 2002).

Материал в 1996-1997 и в 2011 г. был собран в летне-осенний период районах губы Кунчаст и о.Хорт (рис.1). Рыбу отлавливали ставными жаберными донными сетями из нейлонового монофиламент стандартной длиной 25 м, высотой 1.5 м и 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 И.Ф.Правдина (1966). Для выделения внутривидовых форм у исследуемых сегов в 2011 г. производился подсчет количества тычинок на первой жаберной дуге (Правдин, 1966; Решетников, 1980; Siwertsson et. al, 2008).

Для определения возраста и темпов линейного роста был исследован чешуйный материал 114 экземпляров сига за 1996-1997 гг. и 140 экземпляров за 2011 г. (Oosten, 1923; Вовк, 1956; Галкин, 1958; Чугунова, 1959; Решетников, 1966, 1980; Лапин, Юровицкий, 1991; Смирнов, Смирнова-Залуми, 1993; Зиновьев, Мандрица, 2003; Чернова, Дгебуадзе, 2008).

Расчисление темпа роста проводилось с использованием прямой пропорциональной зависимости между длиной тела и размером переднего диагонального радиуса чешуи (Чугунова, 1959). Аналитическое описание расчисленного линейного роста выполняли с помощью уравнения Берталанфи (Мина, Клевезаль, 1967). Для характеристики темпов роста использована формула удельной скорости Шмальгаузена – Броди (1935), учитывая нарастание длины по сложным процентам (Шмальгаузен, 1935; Мина, Клевезаль, 1976; Дгебуадзе, 2001). Описание периодов роста проводилось по формуле константы роста Шмальгаузена, предполагающей, что произведение удельной скорости роста на время, протекшее с начала роста, является постоянной величиной для отдельных периодов роста, на которые распадается развитие всякого живого (Шмальгаузен, 1935; Чугунова, 1959; Мина, Клевезаль, 1976). Также был использован показатель характеристики роста Васнецова, представляющий произведение средней удельной скорости роста на исходную длину (т.е. длину в начале сезона роста) (Чугунова, 1959; Никольский 1965; Мина, Клевезаль, 1976).

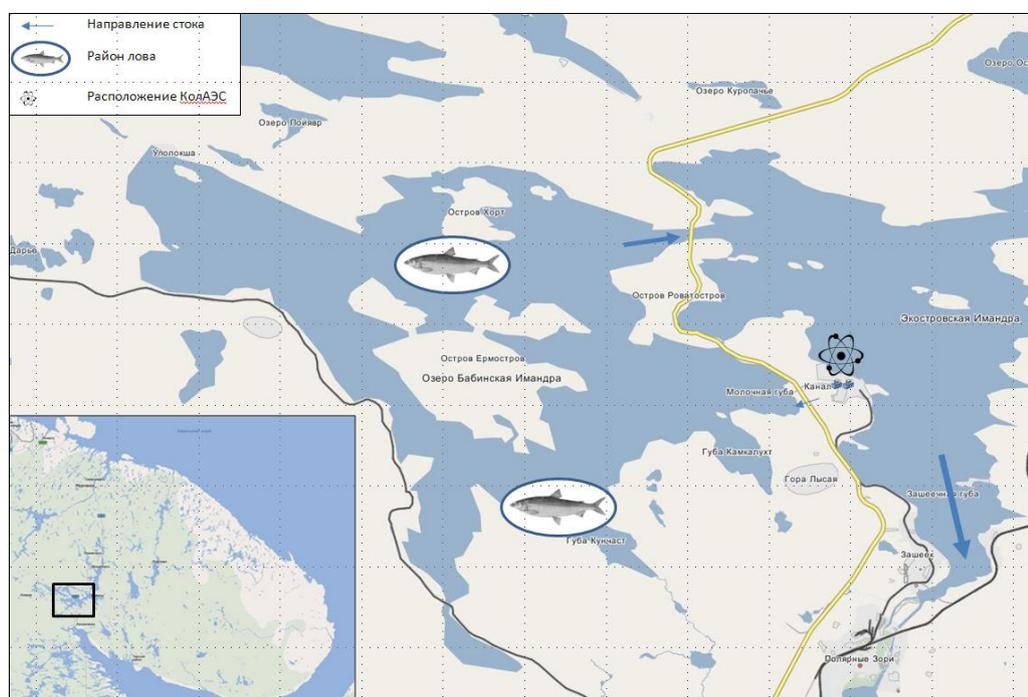


Рис.1. Карта-схема расположения районов сбора материалов на плесе Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

В ходе ихтиологических исследований было изучено состояние организмов рыб с применением методов патолого-морфологического анализа, а также проанализированы закономерности накопления тяжелых металлов в органах и тканях сига за различные периоды исследований (1980-е и 2011 гг.) (Кашулин и др., 1999; Антропогенные..., 2002; Кашулин, 2004).

Результаты и обсуждение

Популяционные характеристики. В уловах все экземпляры сига были представлены одной формой – с числом жаберных тычинок короткой, утолщенной у основания формы на первой дуге от 16 до 28 (в среднем 22.4 ± 0.2), что позволяет отнести исследованных сигов к малотычинковым сигам *C. lavaretus lavaretus* с придонным и донным типом питания (Решетников, 1980; Siwertsson et al., 2012).

Сиги Бабинской Имандры в уловах 1996-1997 гг. были представлены девятью возрастными группами: от 2+ до 10+, рыбы в возрасте младше 5+ лет составляли 31.6% от выборки, старше 7+ встречались единично (преимущественно самки). В уловах 2011 г. сиги были представлены только семью возрастными группами: от 1+ до 7+, рыбы младше 5+ лет составляли 60.7%. Соотношение полов в выборках близко 1:1. Доля особей, готовящихся к нересту (III-IV стадии развития гонад), в выборке 1996-1997 гг. составила 32.5%, в 2011 г. она была ниже – 19.3% (табл.2, рис.2).

В 1996-1997 гг. наиболее раннее половое созревание как самцов, так и самок сигов наблюдалось в возрасте 5+ – наиболее многочисленной возрастной группе. Причем доля половозрелых самцов этом возрасте составляла 42.1%, самок – 10.0%. В более старших возрастных группах доля участвующих в нересте текущего года самцов возрастала и в возрасте 7+ – 8+ составляла 100%. У самок лишь особи старших возрастных групп (9+ – 10+) 100% участвовало

в нересте (единичные экз.). Доля готовящихся к нересту самок в возрастных группах 6+ – 8+ составляла 36.4-50.0%. В 2011 г. впервые нерестящиеся самцы встречаются в возрасте 4+ (22.2%), самки – 5+ (8.3%). Доля сигов, участвующих в нересте в возрасте 6+ – 7+, составила у самцов 31.3 и 75.0%, у самок – 42.9 и 100%.

Большинство впервые нерестящихся сигов Бабинской Имандры в исследуемые годы достигали линейных размеров, которые характерны для половозрелых сигов из чистых водоемов: самцы – 27-28 см, самки – 28-30 см (Решетников, 1966, 1980; Решетников, Богданов, 2011) – и были выше у самок в выборке 2011 г. (табл.2), несмотря на то, что здесь происходит снижение возраста их массового созревания с 7+ до 6+. В выборке 1996-1997 гг. среди сигов в возрасте 6+ встречались две особи, которые созревали при меньших длинах: самец – 255.0 мм и самка – 256.0 мм (табл.2), в выборке 2011 г. – самец в возрасте 4+ при длине 245.0 мм. Что касается массы нерестящихся сигов, то у самцов в оба периода в среднем она составляла 250 г, у самок в 1996-1997 гг. – 260 г, в 2011 г. также была выше – 370 г.

В целом по выборкам в уловах 1996-1997 гг. (9 возрастных групп) сиги были представлены особями длиной 135-353 (в среднем 266.7 ± 4.1) мм и массой 20-539 (212.4 ± 10.1) г. В 2011 г. (7 возрастных групп) исследуемые сиги были представлены особями длиной 150-436 (266.3 ± 0.5) мм и массой 29-1350 (249.3 ± 16.2) г (рис.3). Более крупные экземпляры в возрасте старше восьми лет в уловах 2011 г. отсутствовали. Вместе с тем, средние размерно-весовые показатели сигов по возрастным группам были достоверно выше по сравнению с показателями 1996-1997 гг. (табл.2).

Таблица 2

Половой состав, доля созревающих особей и средние размерно-весовые характеристики малотычинкового сига *C. lavaretus* *lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Год исследования	Возраст, лет										Среднее по выборке
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996-1997	-	6(5/0/1)	9(0/4/5)	23(0/9/14)	29(0/19/10)	20(0/9/11)	17(0/7/10)	7(0/2/5)	1(0/0/1)	2(0/0/2)	114(5/50/59)
2011	1(0/0/1)	19(1/6/12)	26(1/14/11)	39(0/18/21)	28(0/16/12)	18(0/4/14)	9(0/4/5)	-	-	-	140(2/62/76)
Численность возрастной группы и соотношение полов ($\mu\text{v}/\delta/\text{f}$), экз.											
1996-1997	0/0	0/0	0/0	0/0	42.1/10.0	66.7/36.4	100/50.0	100/40.0	0/100	0/100	44.0/25.4
2011	0/0	0/0	0/0	22.2/0	31.3/8.3	75.0/42.9	75.0/100	-	-	-	24.6/15.8
Доля особей, готовящихся к нересту, % от численности возрастной группы (δ/f)											
Длина (AC), самцы, мм											
1996-1997	-	-	190-220	210-275	215-322	255-300	300-332	335-342	-	-	265.5±5.6
2011	-	165-240	199.5±6.9	245.8±6.4	266.7±6.2	282.9±5.2	313.6±4.9	333.5±8.5	-	-	269.7±5.3
		194.4±13.1	232.4±6.6	271.2±5.8	282.8±6.4	313.8±30.6	327.5±11.4	-	-	-	
$\Delta L_{2011-1996-1997}$, мм (t, P)	-	-	+32.9 (t = 2.51 , P> 0.5)	+25.4 (t = 2.71 , P> 0.9)	+16.1 (t = 1.79)	+30.9 (t = 1.48)	+13.9 (t = 1.32)	-	-	-	+4.2 (t = 0.53)
Длина (AC), самки, мм											
1996-1997	-	188.0	190-215	208-285	240-292	252-320	295-348	270-353	290.0	315-335	270.5±5.4
2011	165.0	150-220	199.4±4.6	242.3±6.4	266.9±5.8	280.7±5.7	312.3±5.7	312.8±15.3	-	325.0±10.0	268.9±7.3
		181.8±6.4	220.3±10.6	268.1±6.9	305.8±9.6	326.0±8.5	360.6±24.1	-	-	-	
$\Delta L_{2011-1996-1997}$, мм (t, P)	-	-6.2	+20.9 (t = 1.3)	+25.8 (t = 2.59 , P> 0.5)	+38.9 (t = 3.29 , P> 0.9)	+45.3 (t = 4.18 , P> 0.99)	+48.3 (t = 2.64 , P> 0.5)	-	-	-	-1.6 (t = 0.17)
Длина (AC), оба пола, мм											
1996-1997	-	135-188	190-220	208-285	215-322	252-320	295-348	270-353	290.0	315-335	266.7±4.1
2011	165.0	154.5±11.6	199.4±3.7	243.7±4.6	266.8±4.3	280.8±3.7	312.8±3.8	318.7±11.4	-	325.0±10.0	266.3±4.8
		183.8±5.8	224.7±6.2	269.5±4.5	292.6±5.8	323.3±9.0	345.9±14.7	-	-	-	
$\Delta L_{2011-1996-1997}$, мм (t, P)	-	+29.3 (t = 2.18 , P> 0.5)	+25.3 (t = 2.32 , P> 0.5)	+25.8 (t = 3.76 , P> 0.99)	+25.8 (t = 3.59 , P> 0.99)	+42.5 (t = 4.58 , P> 0.99)	+33.1 (t = 2.81 , P> 0.9)	-	-	-	-0.4 (t = 0.06)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса, самцы, г											
1996-1997	-	-	<u>58-84</u> 69.5±5.5	<u>89-212</u> 141.3±12.8	<u>98-360</u> 200.7±14.9	<u>144-301</u> 235.4±16.0	<u>263-391</u> 336.6±18.4	<u>372-445</u> 408.5±36.5	-	-	213.1±13.4
2011	-	<u>54-144</u> 77.4±16.9	<u>64-219</u> 129.8±12.3	<u>121-338</u> 223.7±15.5	<u>172-416</u> 263.8±20.0	<u>272-830</u> 492.3±171.4	<u>332-544</u> 427.8±44.6	-	-	-	225.9±16.9
$\Delta L_{2011-1996-1997}$ мм (<i>t</i> , <i>P</i>)	-	-	+60.3 (<i>t</i> = 2.55 , <i>P</i> > 0.5)	+82.4 (<i>t</i> = 3.46 , <i>P</i> > 0.9)	+63.1 (<i>t</i> = 2.58 , <i>P</i> > 0.5)	+256.9 (<i>t</i> = 1.74)	+91.2 (<i>t</i> = 2.23)	-	-	-	+12.8 (<i>t</i> = 0.58)
Масса, самки, г											
1996-1997	-	66.0	<u>65-78</u> 70.2±2.2	<u>79-224</u> 134.1±12.3	<u>130-288</u> 202.0±15.8	<u>159-430</u> 240.5±23.6	<u>282-476</u> 346.2±23.5	<u>222-539</u> 346.2±58.2	282.0	<u>316-387</u> 351.5±35.5	222.7±14.9
2011	50.0	<u>29-104</u> 59.0±6.4	<u>29-202</u> 118.5±16.3	<u>87-362</u> 218.3±18.5	<u>150-521</u> 346.5±33.6	<u>241-815</u> 448.0±47.0	<u>311-1350</u> 707.2±195.1	-	-	-	271.2±26.0
$\Delta L_{2011-1996-1997}$ мм (<i>t</i> , <i>P</i>)	-	-7.0	+48.3 (<i>t</i> = 1.96)	+82.4 (<i>t</i> = 3.38 , <i>P</i> > 0.9)	+103.8 (<i>t</i> = 3.64 , <i>P</i> > 0.9)	+207.5 (<i>t</i> = 3.63 , <i>P</i> > 0.9)	+361.0 (<i>t</i> = 2.64 ; <i>P</i> > 0.5)	-	-	-	+48.5 (<i>t</i> = 1.50)
Масса, оба пола, г											
1996-1997	-	<u>20-66</u> 32.3±11.3	<u>58-84</u> 69.9±2.5	<u>79-224</u> 137.0±8.8	<u>98-360</u> 200.3±10.7	<u>144-430</u> 235.4±14.0	<u>263-476</u> 342.2±15.4	<u>240-549</u> 364.1±42.5	282.0	<u>316-387</u> 351.5±35.5	212.4±10.1
2011	50.0	<u>29-144</u> 62.6±6.6	<u>29-219</u> 121.5±9.9	<u>87-362</u> 220.7±12.1	<u>150-521</u> 299.2±19.6	<u>241-830</u> 438.3±47.0	<u>311-1350</u> 583.0±115.4	-	-	-	249.3±16.2
$\Delta m_{2011-1996-1997}$ г (<i>t</i> , <i>P</i>)		+30.3 (<i>t</i> = 2.02)	+51.6 (<i>t</i> = 3.01 , <i>P</i> > 0.9)	+83.7 (<i>t</i> = 4.87 , <i>P</i> > 0.99)	+98.9 (<i>t</i> = 4.51 , <i>P</i> > 0.99)	+202.9 (<i>t</i> = 4.41 , <i>P</i> > 0.99)	+240.8 (<i>t</i> = 2.83 , <i>P</i> > 0.5)	-	-	-	+36.9 (<i>t</i> = 1.83)

ПРИМЕЧАНИЯ. В числителе указаны пределы варьирования показателя, в знаменателе – среднее значение с показателями стандартной ошибки; ΔL и Δm – разность между и линейными и весовыми показателями 2011 и 1996-1997 гг.; *t* – коэффициент Стьюдента; *P* – область значений, жирным выделены достоверные различия.

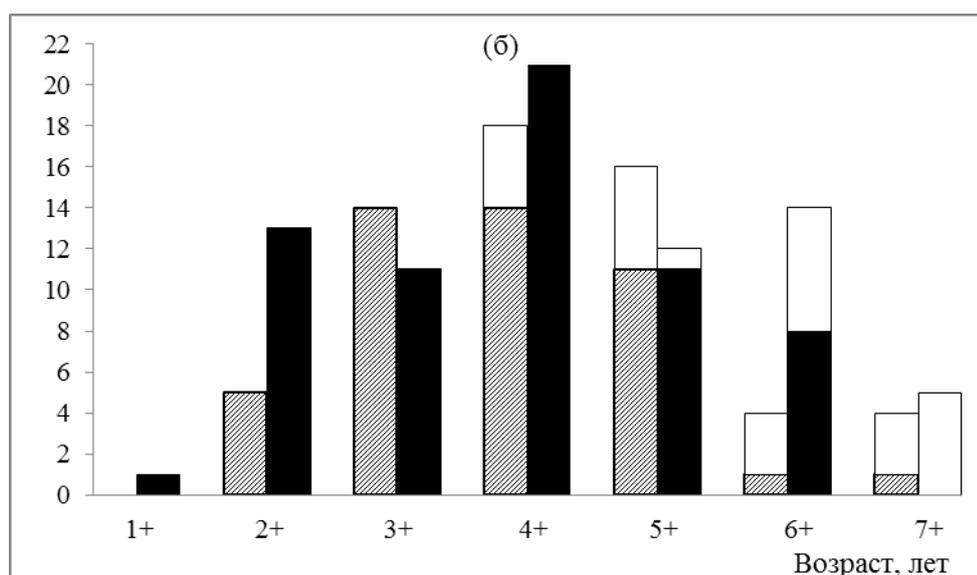
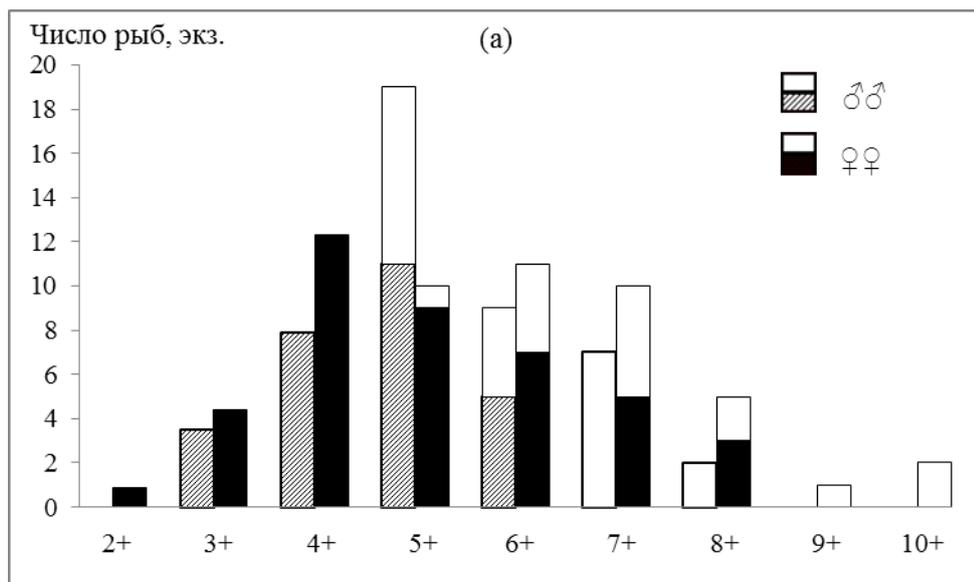


Рис.2. Возрастной и половой состав малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 (а) и 2011 (б) гг. Незаштрихованной частью каждого столбика показано количество рыб с III-IV стадией зрелости гонад

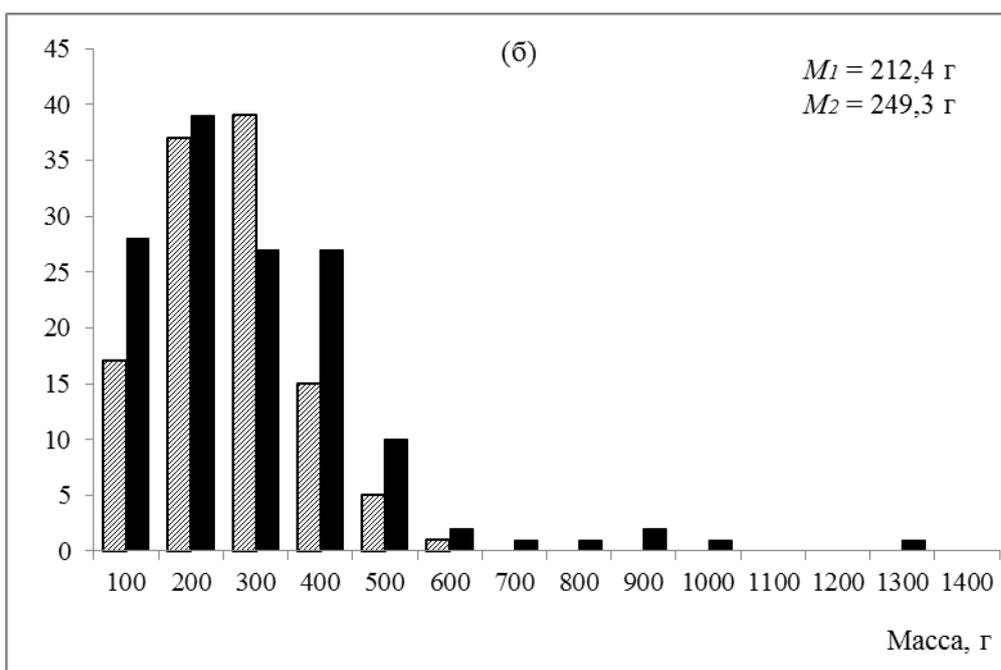
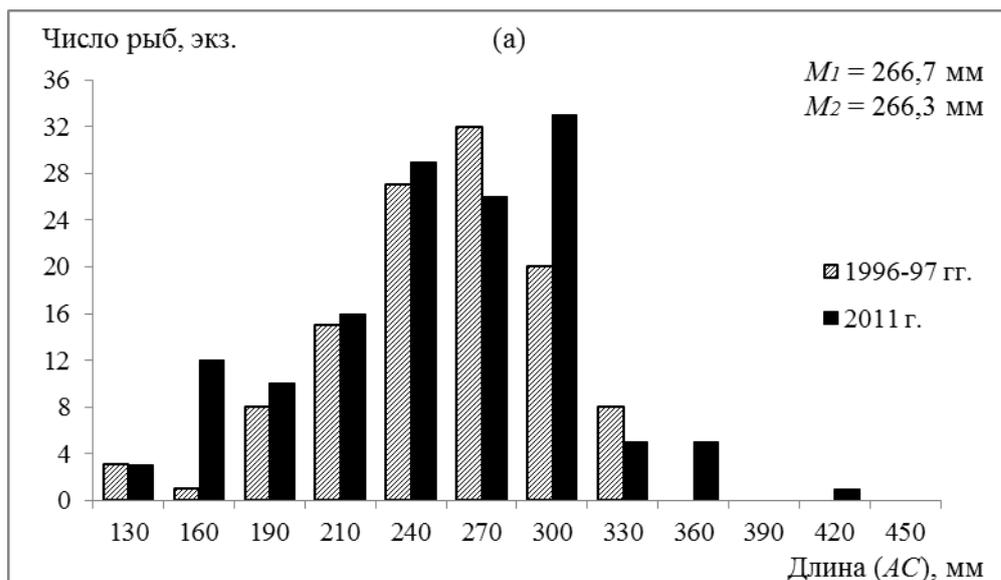


Рис.3. Размерный (а) и весовой (б) состав малотычинкового сига *S. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Темп роста. Результаты расчетов темпа роста сигов с использованием метода прямой пропорциональной зависимости за 1996-1997 и 2011 гг. представлены в табл.3.

Таблица 3

Результаты обратного расчисления длины AC и значения удельной скорости роста C_t малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Возраст, лет	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}	n
1996-1997 гг.											
2+	75.7	116.8	-	-	-	-	-	-	-	-	3
3+	80.0	136.8	171.4	-	-	-	-	-	-	-	9
4+	69.4	120.8	162.3	206.6	-	-	-	-	-	-	23
5+	67.8	113.8	159.7	200.0	235.6	-	-	-	-	-	30
6+	64.6	112.0	151.3	187.5	223.3	256.9	-	-	-	-	21
7+	62.2	106.3	144.1	180.1	217.9	249.9	281.1	-	-	-	17
8+	51.9	89.4	126.5	154.1	187.1	225.9	264.7	292.3	-	-	7
9+	45.3	81.6	108.8	126.9	154.1	172.2	217.5	244.7	271.9	-	1
10+	60.5	94.8	112.0	142.7	180.7	210.1	239.5	265.3	286.6	303.8	2
Среднее	64.2	108.0	142.0	171.1	199.8	223.0	250.7	267.4	279.3	303.8	
Прирост	43.8 34.0 29.1 28.7 23.2 27.7 16.7 11.9 24.5										114
C_t	0.52 0.27 0.19 0.16 0.11 0.12 0.06 0.04 0.08										
2011 г.											
1+	115.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2+	87.2	145.0	-	-	-	-	-	-	-	-	19
3+	80.7	134.5	190.5	-	-	-	-	-	-	-	26
4+	69.4	122.7	185.2	238.8	-	-	-	-	-	-	39
5+	62.5	111.3	162.2	217.1	266.0	-	-	-	-	-	28
6+	68.7	115.8	162.7	214.4	260.7	301.8	-	-	-	-	18
7+	55.3	97.2	146.6	187.8	243.1	278.8	316.0	-	-	-	9
Среднее	77.1	121.1	169.8	214.4	253.6	290.3	316.0	-	-	-	
Прирост	44.0 48.7 44.6 39.2 36.7 25.7 - - -										140
C_t	0.45 0.34 0.23 0.17 0.14 0.08 - - -										

Анализ полученных данных показывает так называемый феномен Розы Ли (табл.3) – различия соответствующих данных, полученных при измерениях годовых зон чешуи рыб разных возрастных групп (Чугунова, 1959; Зиновьев, Мандрица, 2003). Линейная зависимость между длиной сигов AC и длиной их переднего диагонального радиуса чешуи R_v в исследуемые годы высока (рис.4). Это дает основание полагать, что вышеописанный феномен, возможно, обусловлен неодновременным растянутым достижением половой зрелости у сигов (табл.3) и селективной размерно-зависимой смертностью особей на первом году жизни (Oosten, 1923; Чугунова, 1959; Замахаев, 1964; Богданов, 1966; Брюзгин, 1969).

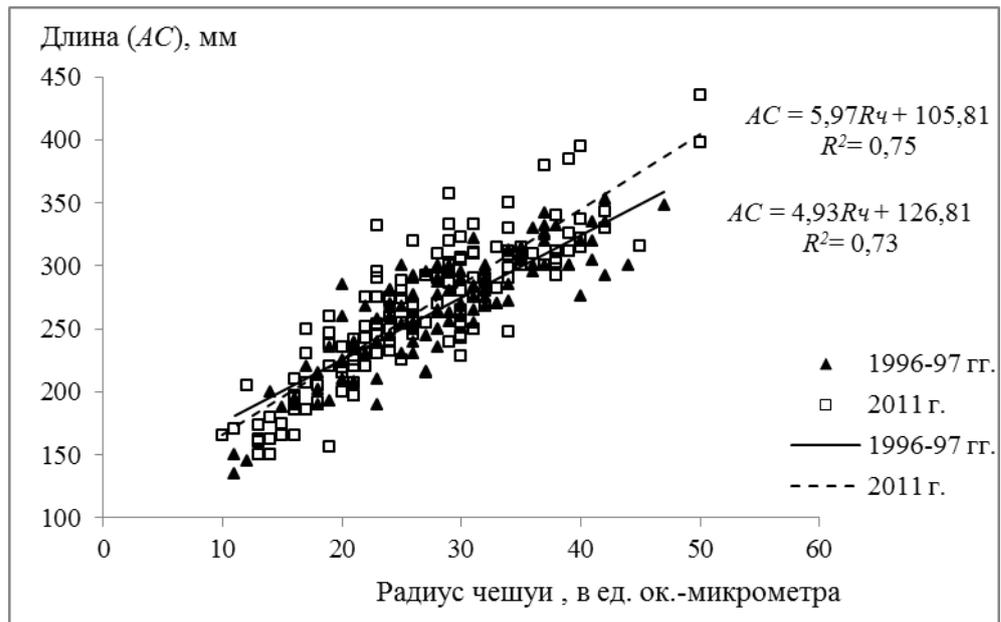


Рис.4. Зависимость длины переднего диагонального радиуса чешуи малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра от длины тела AC в 1996-1997 и 2011 гг.

Результаты сравнения двух представленных уравнений зависимости длины тела от длины радиуса чешуи показывают, что линии регрессии в 1996-1997 и 2011 гг. имеют достоверно различающиеся углы наклона a ($P > 0.99$) (рис.4). С увеличением размеров радиуса чешуи длина тела у сигов из уловов 2011 г. ($a = 5.97 \pm 0.29$) увеличивается быстрее, чем у сигов из уловов 1996-1997 гг. ($a = 4.93 \pm 0.28$).

Сравнение полученных расчетных значений длины тела показало, что более крупные сиги из уловов 2011 г. (табл.3, рис.5а) на протяжении жизни имели большие значения средних годовых приростов с 1-го по 6-й год жизни (табл.3, рис.5б). При этом как в 1996-1997 гг., так и 2011 г. самый высокий темп роста был характерен для первого года жизни сигов (в среднем 64.2 и 77.1 мм соответственно).

Наибольшие значения удельной скорости роста C_l были характерны для сигов с 1-го по 2-й год жизни, в 1996-1997 гг. они составили – 0.52, в 2011 г. – 0.45. Начиная со 2-го по 6-й годы жизни удельная скорость роста была выше у сигов из уловов 2011 г. (табл.3, рис.5в). В итоге семигодовалые сиги в 2011 г. достигали длины – 316.0 мм, в то время как в 1996-1997 гг. особи в десятигодовалом возрасте имели максимальную длину 303.8 мм.

У изученных нами сигов наблюдаются половые различия в темпе роста. Причем если в 1996-1997 гг. самцы росли быстрее, то в 2011 г., напротив, самки демонстрировали более высокий темп роста (табл.4, рис.6).

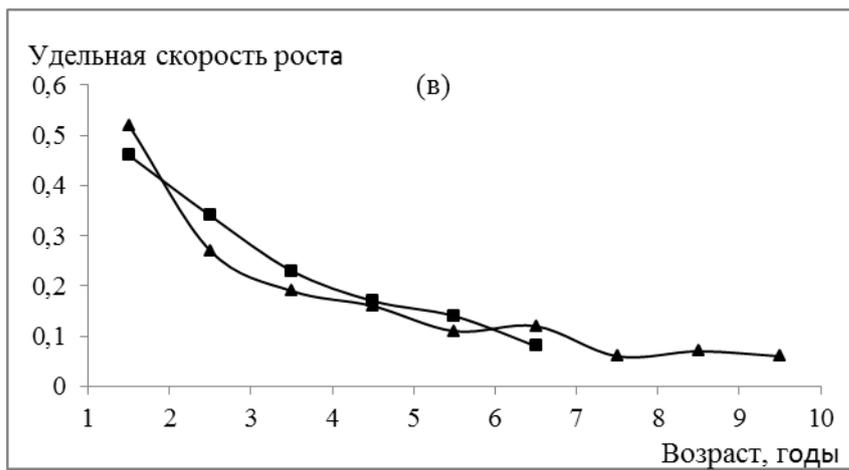
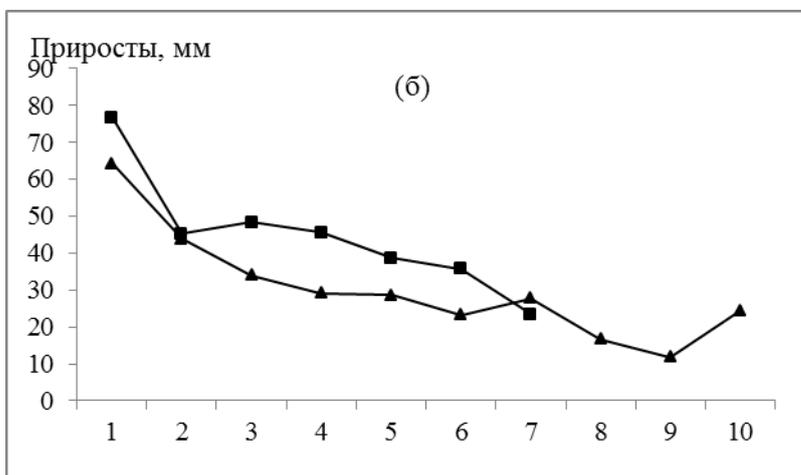
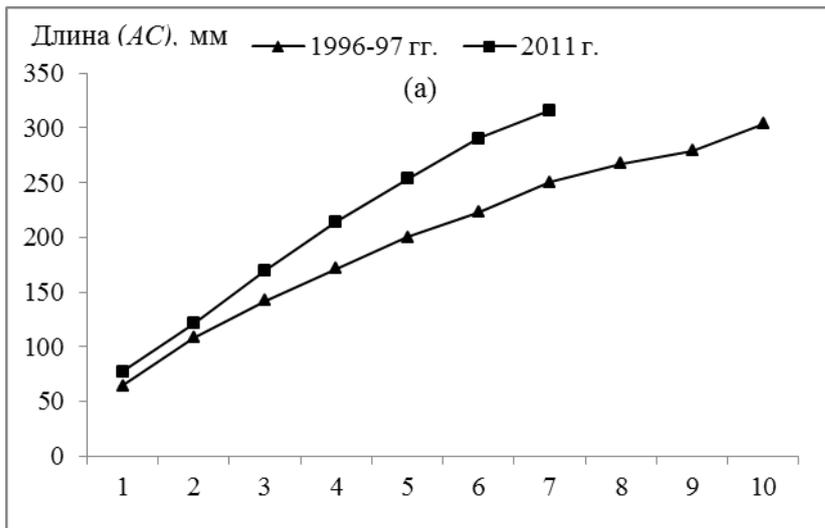


Рис.5. Темп роста (а), средние годовые приросты (б) и удельная скорость роста (в) малотычинкового сига плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Таблица 4

Средние значения расчисленной длины AC , мм, удельной скорости роста C_b , константы роста по Шмальгаузену – Броди C_{lt} и характеристики роста по Васнецову H , мм самцов и самок малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Показатели	Возраст, годы										n
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1996-1997 гг.											
Самцы											50
Среднее	68.4	99.9	155.8	191.8	218.7	248.0	280.1	298.7	-	-	
Прирост	31.5	55.9	36.0	26.9	29.3	32.1	18.6	-	-		
C_l	0.39	0.44	0.21	0.13	0.12	0.12	0.07	-	-		
C_{lt}	0.6	1.1	0.7	0.6	0.7	0.8	0.5	-	-		
C_{lt}^*				0.8				0.5	-	-	
H	25.9	44.4	32.4	25.2	27.5	30.2	18.0	-	-		
H^*				30.9				18.0	-	-	
Самки											59
Среднее	63.9	110.0	141.8	168.9	199.5	223.0	248.8	265.0	279.3	303.8	
Прирост	46.1	31.8	27.1	30.6	23.5	25.8	16.2	14.3	24.5		
C_l	0.54	0.25	0.17	0.17	0.11	0.11	0.06	0.05	0.08		
C_{lt}	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.8		
C_{lt}^*				0.7				0.6			
H	34.7	27.9	24.8	28.1	22.2	24.4	15.7	13.9	23.5		
H^*				27.0				17.7			
2011 г.											
Самцы											62
Среднее	70.9	120.1	166.2	207.2	240.0	267.2	292.7	-	-	-	
Прирост	49.2	46.1	41.0	32.8	27.2	25.5	-	-	-		
C_l	0.53	0.32	0.22	0.15	0.11	0.09	-	-	-		
C_{lt}	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	-	-	-		
C_{lt}^*				0.8				0.6	-	-	-
H	37.4	39.0	36.6	30.4	25.8	24.4	-	-	-		
H^*				35.9				25.1	-	-	-
Самки											76
Среднее	77.6	123.3	174.0	221.0	264.3	303.9	335.1	-	-	-	
Прирост	45.6	50.8	47.0	43.3	39.6	31.2	-	-	-		
C_l	0.46	0.35	0.24	0.18	0.14	0.10	-	-	-		
C_{lt}	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	-	-	-		
C_{lt}^*				0.8				0.6	-	-	-
H	35.9	42.5	41.6	39.5	36.9	29.7	-	-	-		
H^*				39.3				29.7	-	-	-

ПРИМЕЧАНИЕ. C_{lt} и H^* – значения средней константы роста и характеристики роста за период, жирным отмечены значения, которые характеризуют период снижения роста.

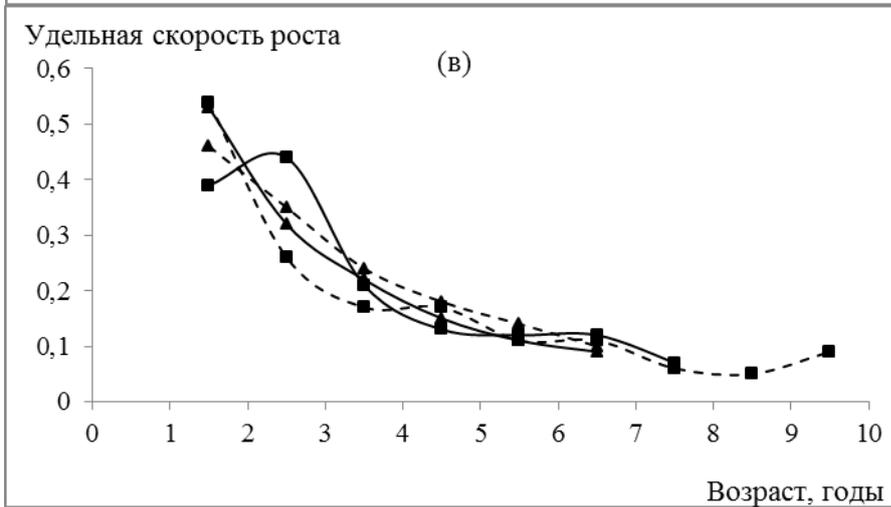
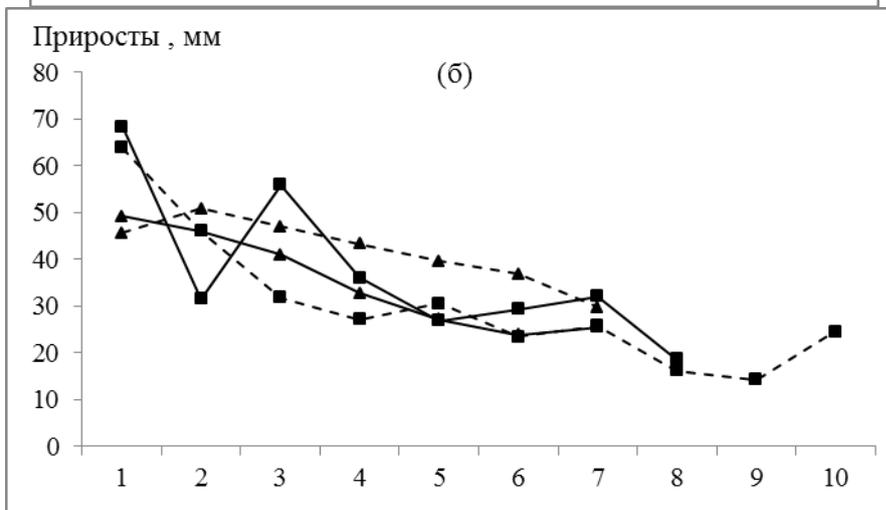
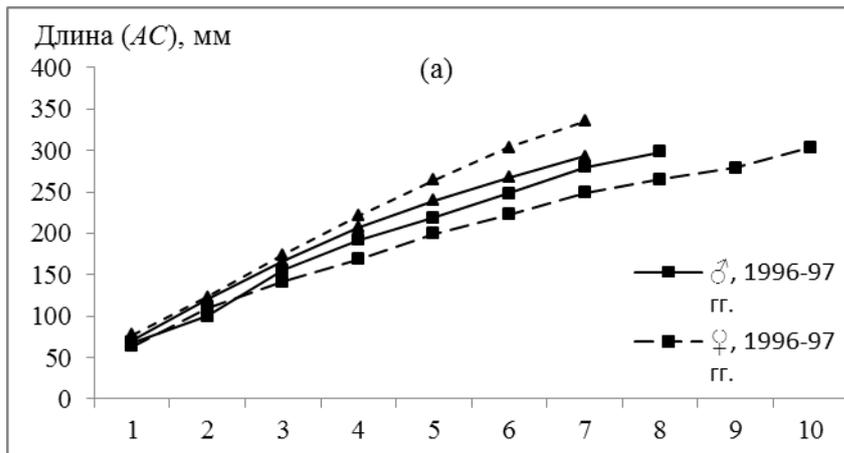


Рис.6. Темп роста (а), средние годовые приросты (б) и удельная скорость роста (в) самцов и самок малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Число склеритов, формирующихся за каждый год на чешуе сигов, тесно связано с годовыми приростами рыб, и максимальное их число формируется на первом году жизни (табл.5).

При сравнении двух выборок, большее количество склеритов было характерно для сигов из уловов 2011 г. с 1-го по 5-й годы жизни, хотя достоверно эти различия наблюдалось только у двух возрастных групп (3 и 4 года). Данные различия двух выборок, вероятно, являются следствием соответствующих различий в росте рыб. С возрастом у всех исследуемых группировок сига происходит достоверное снижение количества склеритов.

Таблица 5

Среднее количество склеритов в каждом годовом кольце малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Возраст, годы	1996-1997 гг.	n, экз.	2011 г.	n, экз.	$\Delta N_{\text{ск. 2011} - 1996-1997}$ (t, P)
1	$\frac{7-19}{13.5 \pm 0.3}$	114	$\frac{6-28}{13.6 \pm 0.3}$	140	+0.2 (t = 0.47)
2	$\frac{6-22}{12.4 \pm 0.3}$	114	$\frac{6-23}{12.8 \pm 0.3}$	139	+0.4 (t = 0.95)
3	$\frac{5-18}{10.8 \pm 0.3}$	110	$\frac{6-25}{12.0 \pm 0.4}$	120	+1.2 (t = 2.40, P > 0.5)
4	$\frac{5-20}{10.1 \pm 0.3}$	101	$\frac{6-26}{11.8 \pm 0.4}$	93	+1.7 (t = 3.40, P > 0.9)
5	$\frac{5-16}{10.0 \pm 0.3}$	78	$\frac{6-21}{10.6 \pm 0.4}$	55	+0.6 (t = 1.20)
6	$\frac{5-19}{9.8 \pm 0.5}$	48	$\frac{4-20}{9.1 \pm 0.7}$	27	-0.8 (t = 0.93)
7	$\frac{6-17}{9.9 \pm 0.3}$	27	$\frac{5-10}{8.6 \pm 0.8}$	8	-1.2 (t = 1.40)
8	$\frac{7-12}{8.7 \pm 0.5}$	10	-	-	-
9	$\frac{8-10}{9.0 \pm 0.6}$	3	-	-	-
10	$\frac{7-8}{7.5 \pm 0.5}$	2	-	-	-

ПРИМЕЧАНИЯ. В числителе указаны пределы варьирования показателя, в знаменателе – среднее значение с показателями стандартной ошибки; ΔN – разность между количеством склеритов 2011 и 1996-1997 гг.; t – коэффициент Стьюдента; P – область значений; жирным выделены достоверные различия.

Данные обратного расчисления роста рыб позволили определить параметры уравнения Бергаланфи (табл.6). Значения асимптотической длины L_{∞} и параметра t_0 оказались больше у выборки 2011 г. Напротив, значение константы роста K было достоверно больше ($P > 0.99$) у сигов из уловов 1996-1997 гг. Большие значения величины K указывают на больший изгиб кривой роста рассматриваемой группировки рыб и соответственно на более быстрое достижение таковой

асимптотических размеров (Мина, Клевезаль, 1976). Следовательно, различия в коэффициентах говорят о том, что рыбы выборки 2011 г. медленнее достигают своих предельных размеров, которые при этом достоверно превышают таковые у рыб выборки 1996-1997 гг. Это дает основание предполагать, что для сигов Бабинской Имандры в 2011 г. были более благоприятные условия для реализации видовой «ростовой потенции» (Мина, Клевезаль, 1967; Михеев, 2008).

Таблица 6

Коэффициенты уравнения Бергаланфи, описывающие линейный рост малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Год исследования	L_{∞}	K	t_0	R^2
1996-1997	374.2786	0.1580±0.005	0.0000	0.992
2011	490.7818	0.1468±0.003	0.0000	0.997

Анализ усредненных по выборкам значений темпа роста самцов и самок показал, что его снижение у обоих полов в выборке 1996-1997 гг. происходит на восьмом году жизни (табл.4), что соответствует значениям константы роста по Шмальгаузену (1935) и характеристике роста по Васнецову. При этом впервые созревающие самцы и самки сига в этой выборке наблюдались в возрасте 5+, массовый нерест у самцов происходил в возрасте 5+, у самок – в 7+. В 2011 г. снижение темпов роста сигов происходит раньше: у самцов – на шестой год жизни, у самок – на седьмой (табл.4). Участвовать в нересте самцы начинали в возрасте 4+, самки – 5+, массовый нерест наблюдался в возрасте 5+ и 6+ соответственно.

Таким образом, как в 1996-1997, так и в 2011 гг. выявить влияние наступления полового созревания на темпы роста малотычинковых сигов Бабинской Имандры при сравнении усредненных показателей сложно из-за одновременного растянутого созревания и неежегодности нереста (Решетников, 1966; 1980; Шарова, Лукин, 2000; Решетников, Богданов, 2011). Поэтому мы проанализировали отдельно особенности роста сигов в возрасте 4+, 5+ и 6+, готовящихся к нересту в текущем году, подразумевая, что они созревают впервые, и пропускающих его (табл.7).

Готовящиеся к нересту самцы выборки 1996-1997 гг. в возрасте 5+ росли достоверно быстрее ненерестящихся на протяжении всей жизни. У нерестящихся самок в этом возрасте были значительно бóльшие приросты, начиная с 3-годовалого возраста. В итоге в возрасте 5+ особи, готовящиеся к нересту, имели бóльшие наблюдаемые длины по сравнению с ненерестящимися (табл.7). В возрасте 6+ и 7+ рост участвующих и не участвующих в нересте сигов достоверно не отличался (табл.7), что также характерно и для сигов рассматриваемых возрастов из выборки 2011 г. В обеих выборках, среднее количество склеритов текущего года у впервые нерестящихся сигов достоверно не отличалось от количества склеритов у ненерестящихся рыб.

Таким образом, прямых данных о замедлении темпов роста в связи с созреванием гонад у сигов из исследуемых выборок нет, что также отмечалось Ю.С.Решетниковым (1966) для чунозерских сигов. Он указывал на возможность влияния неежегодности нереста у сигов в чередовании годов быстрого и медленного роста самцов и самок. В нашем случае это можно проследить только у самок сига в 1996-1997 гг. с восьмого по десятый год жизни (табл.4) (хотя данные относятся лишь к единичным экземплярам). У сигов в выборке 2011 г. чередования годов быстрого и

медленного роста не наблюдается. Это, возможно, связано со снижением продолжительности жизни сига и тем, что большая часть участвующих в нересте (III-IV стадия развития гонад) экземпляров были впервые нерестящимися.

Таблица 7

Сравнение темпа линейного роста нерестящихся (III, IV стадии зрелости) и не нерестящихся (II, II-III стадия зрелости) малотычинковых сигов *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в разном возрасте (выборки 1996-1997 и 2011 гг.)

Показатели	Стадия зрелости	Расчисленная длина рыб AC, мм								Наблюдаемая длина AC, мм	n, экз.
		l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Возраст 5+	Выборка 1996-1997 гг.										
Самцы	II	62.8±4.7	107.5±30	150.2±2.2	186.8±2.4	222.5±2.9	9.0±0.7	-	-	252.5±7.3	11
	III, IV	67.5±3.1	121.0±3.8	167.7±4.5	215.7±3.9	249.9±2.4	10.3±1.1	-	-	286.1±6.2	8
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (t, P)	+4.7 (t = 0.72)	+13.5 (t = 2.79 , P>0.5)	+17.5 (t = 3.49 , P>0.9)	+28.9 (t = 6.31 , P>0.99)	+27.4 (t = 7.28 , P>0.99)	+1.3 (t = 0.61)	-	-	+33.6 (t = 3.51 , P>0.9)	-
Самки	II	75.4±4.5	116.6±3.4	160.7±4.0	198.7±2.7	234.4±1.2	8.4±1.2	-	-	264.3±5.8	9
	III, IV	58.0	106.3	183.6	222.3	270.6	10.0	-	-	290.0	1
	$\Delta L_{III-IV-II}$	-17.4	-10.3	+22.9	+23.6	+36.2	+1.6	-	-	+25.7	-
Возраст 6+											
Самцы	II	75.9±3.5	118.6±3.7	159.1±3.8	197.1±4.5	225.4±3.6	258.3±1.7	7.0±0.9	-	278.5±5.6	4
	III, IV	63.3±4.3	116.4±4.2	161.7±3.5	197.3±2.5	235.2±4.3	262.9±2.2	7.0±0.5	-	286.4±8.5	5
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (t)	-12.6 (t = 2.27)	-2.2 (t = 0.39)	+2.6 (t = 0.50)	+0.2 (t = 0.04)	+9.8 (t = 1.74)	+4.3 (t = 1.65)	-	-	+7.9 (t = 0.78)	-
Самки	II	59.2±2.6	108.3±5.7	143.7±3.5	174.3±2.9	213.6±5.1	244.8±3.8	9.1±1.2	-	278.6±5.7	7
	III, IV	56.6±6.0	103.9±2.2	144.0±2.3	191.3±10.8	227.7±6.0	264.6±9.0	8.3±0.6	-	284.5±13.3	4
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (t)	-2.6 (t = 0.0)	-4.4 (t = 0.2)	+0.3 (t = 0.9)	+17.0 (t = 1.2)	+14.1 (t = 1.9)	+19.8 (t = 2.3)	-0.8 (t = 0.60)	-	+5.9 (t = 0.41)	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Возраст 4+	Выборка 2011 г.										
Самцы	II	65.1±4.1	120.1±3.9	183.0±3.6	233.8±3.5	7.7±2.1	-	-	-	270.1±6.9	14
	III, IV	77.0±4.7	131.0±0.9	205.9±10.9	265.4±11.5	8.5±1.3	-	-	-	275.3±11.7	4
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (<i>t, P</i>)	+11.9 (<i>t</i> = 1.91)	+10.9 (<i>t</i> = 228 , <i>P</i> > 0.5)	+23 (<i>t</i> = 2.00)	+31.6 (<i>t</i> = 263 , <i>P</i> > 0.5)	+0.3 (<i>t</i> = 0.23)	-	-	-	+5.2 (<i>t</i> = 0.38)	-
Возраст 5+											
Самцы	II	58.1±4.8	100.9±2.6	152.4±3.9	203.2±4.3	251.5±2.6	6.6±1.2	-	-	278.8±8.2	11
	III, IV	63.1±1.2	117.5±5.3	160.6±6.2	208.9±4.6	257.4±6.9	7.6±1.0	-	-	279.0±12.4	5
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (<i>t, P</i>)	+11.9 (<i>t</i> = 1.91)	+16.6 (<i>t</i> = 2.81 , <i>P</i> > 0.5)	+8.2 (<i>t</i> = 1.12)	+8.2 (<i>t</i> = 1.12)	+5.9 (<i>t</i> = 0.80)	+1.1 (<i>t</i> = 0.74)	-	-	+0.2 (0.01)	-
Самки	II	65.1±5.6	114.6±3.9	174.8±4.6	231.8±4.9	277.8±4.3	6.4±1.3	-	-	304.4±11.6	10
	III, IV	83.4	139.0	185.3	240.9	287.2	7.0	-	-	315.0	1
	$\Delta L_{III-IV-II}$	+18.3	+24.4	+10.5	+9.1	+9.4	+0.6	-	-	+10.6	-
Возраст 6+											
Самки	II	72.4±8.3	119.7±5.6	163.7±1.9	219.3±3.7	266.5±3.1	313.2±5.1	5.8±0.9	-	321.8	8
	III, IV	64.8±7.1	113.1±6.5	165.3±5.4	212.8±6.1	260.8±4.9	298.4±2.6	7.8±1.6	-	331.7±16.2	6
	$\Delta L_{III-IV-II}$ (<i>t, P</i>)	-7.6 (<i>t</i> = 0.70)	-6.6 (<i>t</i> = 0.77)	+1.4 (<i>t</i> = 0.28)	-6.5 (<i>t</i> = 0.98)	-5.7 (<i>t</i> = 0.98)	-14.8 (<i>t</i> = 2.59 , <i>P</i> > 0.5)	+1.2 (<i>t</i> = 0.65)	-	+9.9 (<i>t</i> = 0.49)	-

ПРИМЕЧАНИЯ. ΔL – разность между линейными показателями нерестящихся (III, IV стадии зрелости) и нерестящихся (II стадия зрелости) малотычинковых сигов плеса Бабинская Имандра в 1996-97 и 2011 гг.; *t* – коэффициент Стьюдента; *P* – область значений; жирным выделены достоверные различия; жирным курсивом выделено среднее количество склеритов, которое образовалось в текущем году.

При исследовании впервые нерестящихся сигов обеих выборок была выявлена закономерность: чем выше темпы роста рыб, тем в более раннем возрасте они созревают (табл.7, рис.7а, б). Наблюдаемая зависимость является одной из форм связи между темпом роста и скоростью полового созревания, описанная у рыб в природных условиях (Никольский, 1963, 1965; Лапин, Юровицкий, 1959; Земская, 1964; Решетников, 1966; Кошелев, 1971; Trudel et al., 2000). Причем нерестящиеся самцы в возрасте 5+ и 6+ из выборки 1996-1997 гг. имели примерно одинаковые средние годовые приросты в первые три года (табл.8), больший прирост в возрасте 5+ наблюдался у самцов на 4-м году жизни. У нерестящихся самок этой выборки большие приросты в возрасте 5+ относительно возраста 6+ наблюдались только начиная с 3-го годовалого возраста (табл.8).

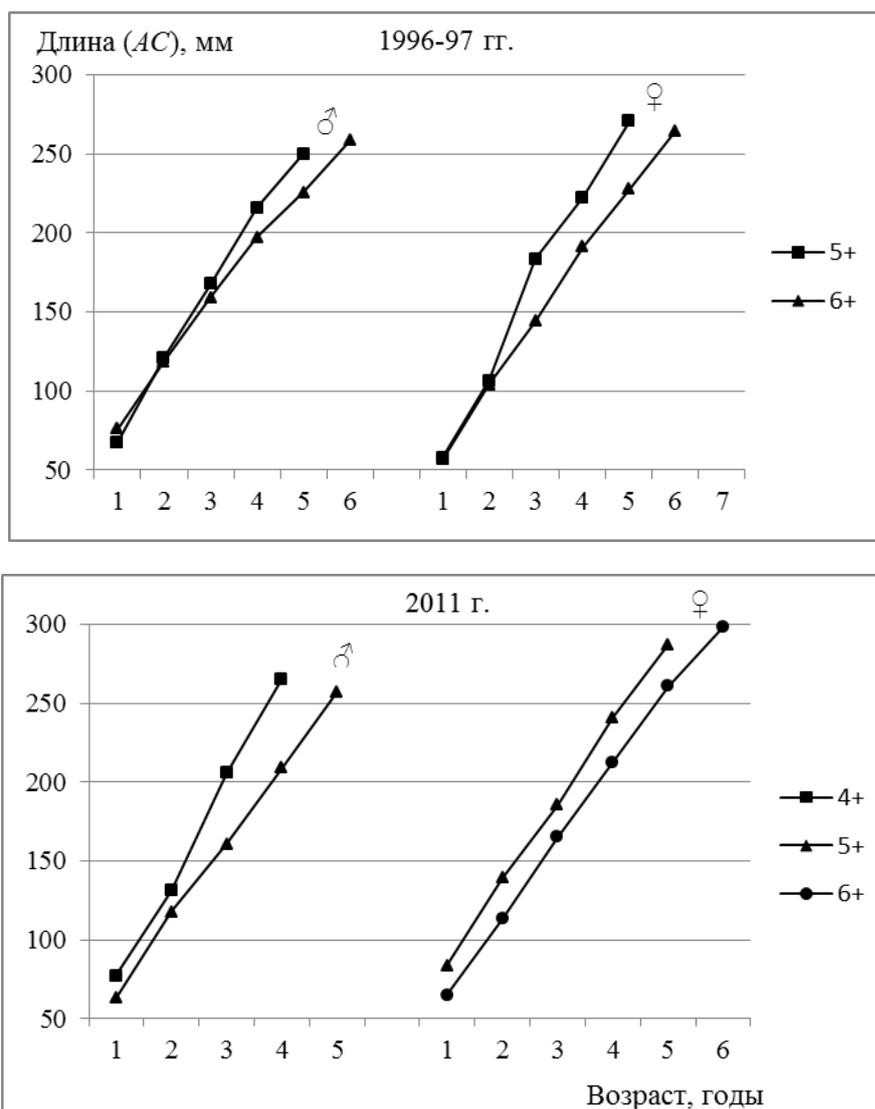


Рис.7. Рост нерестящихся малотычинковых сигов *C. lavaretus lavaretus* разного возраста плеса Бабинская Имандра в 1996-1997 и 2011 гг.

Нерестящиеся самцы из выборки 2011 г. в возрасте 4+ относительно возраста 5+ имели большие годовые приросты практически на протяжении всей жизни (табл.8); самкам выборки в возрасте 5+ относительно возраста 6+ были характерны большие годовые приросты в первые два года жизни, а также на 4-м году.

Таблица 8

Удельная скорость роста C_l и средние годовые приросты (мм) нерестящихся самцов и самок малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинской Имандры в 1996-1997 и 2011 гг.

Возраст, годы	Самцы				Самки			
	5+ (8)		6+ (5)		5+ (1)		6+ (4)	
	C_l	прирост	C_l	прирост	C_l	прирост	C_l	прирост
1996-1997 гг.								
1	0.58	67.5	0.61	63.3	0.61	58.0	0.61	56.6
2	0.33	53.5	0.33	53.1	0.55	48.3	0.33	47.3
3	0.25	46.7	0.20	45.3	0.19	77.3	0.28	40.1
4	0.15	48.0	0.18	35.6	0.20	38.7	0.17	47.3
5	-	34.2	0.11	37.9	-	48.3	0.15	36.4
6	-	-	-	27.7	-	-	-	36.9
2011 г.								
	4+ (4)		5+ (5)		5+ (1)		6+ (6)	
1	0.53	77.0	0.62	63.1	0.51	83.4	0.56	64.8
2	0.45	54.0	0.31	54.4	0.59	55.6	0.38	48.3
3	0.25	74.9	0.26	43.1	0.26	46.3	0.25	52.2
4	-	59.5	0.21	48.3	0.18	55.6	0.20	47.5
5	-	-	-	48.5	-	46.3	0.13	48.0
6	-	-	-	-	-	-	-	37.6

ПРИМЕЧАНИЕ. В скобках представлено количество экземпляров.

Состояние организмов рыб. Оценка особенностей роста рыб тесно связана с состоянием организма (Моисеенко, 1983; Кашулин и др., 1999; Кашулин, 2004). У рыб озера Имандра, испытывающего многофакторное антропогенное воздействие, как правило, развиваются специфические внешние и внутренние патологические трансформации, интенсивность проявления которых зачастую носит дозозависимый характер. Для наименее загрязненной акватории Бабинской Имандры, несмотря на относительное благополучие в состоянии рыб в 1970-х гг., к 1990-м гг. был зафиксирован рост встречаемости патологий у рыб и значительное снижение в уловах числа здоровых особей. Патологии касались главным образом печени (69%) и почек (38%) (рис.8).

В 2011 г. наблюдается значительное снижение интенсивности патологических изменений внутренних органов и тканей рыб. Нами не было выявлено серьезных патологий жизненно важных органов, отмечаемых в предыдущие годы (Антропогенные..., 2002; Крючков и др., 1985; Моисеенко, Яковлев, 1990). Встречаемость патологий почек не превышает 5%, а изменения, связанные с окраской и формой печени, сократились до 30% (рис.8). Патологии печени и почек сига носят начальный характер. По-видимому, снижение

выраженности и частоты встречаемости патологий сигов Бабинской Имандры отражает уменьшение техногенной нагрузки на оз.Имандра за счет общего снижения интенсивности промышленного производства в конце прошлого столетия и усиления мер по минимизации воздействий на природные среды промышленными предприятиями.

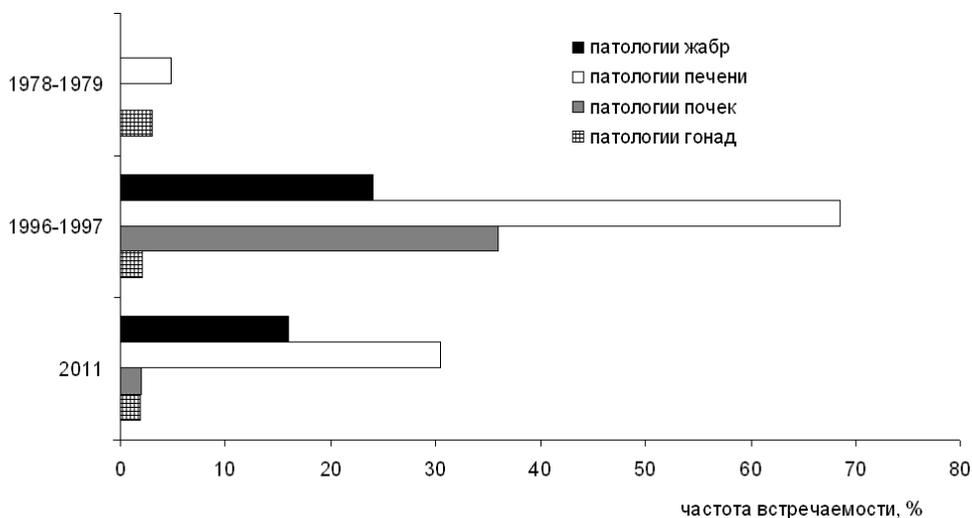


Рис.8. Динамика частоты встречаемости патологий внутренних органов малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинской Имандры с 1978 по 2011 гг.

Ретроспективный анализ содержания тяжелых металлов в организмах рыб. Тяжелые металлы (ТМ), присутствующие в водной среде, как правило, находятся в гораздо меньших концентрациях, чем в организмах гидробионтов. Вместе с тем, даже при незначительных количествах ТМ в воде при постоянном взаимодействии среды и организма происходит их непрерывное концентрирование в его органах и тканях. При этом, чем крупнее организм и чем выше его продолжительность жизни, тем закономерно более высокие уровни накопления металла могут отмечаться в нем. Таким образом, рыбы пресноводных экосистем являются наиболее подходящими объектами при изучении процессов загрязнения пресноводных экосистем тяжелыми металлами.

Несмотря на то, что приоритетными загрязняющими веществами на территории Мурманской обл. являются медь и никель, влияние других не менее токсичных тяжелых металлов на пресноводные экосистемы также остается весьма серьезной проблемой. Интенсивное накопление ТМ в пресноводных экосистемах региона, как правило, приурочено к крупным промышленным объектам. Однако распространение загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, обусловлено процессами аэротехногенного загрязнения, в результате чего их токсическому влиянию подвержена обширная территория, охватывающая практически все водоемы Мурманской обл. и приграничных районов Норвегии и Финляндии (State..., 2007). Нами было показано, что уровни накопления ряда ТМ в органах и тканях рыб Мурманской обл. зачастую сопоставимы у рыб, обитающих как вблизи источников загрязнения, так и расположенных в так называемых фоновых условиях (на удалении более 400 км)

(Терентьев, 2005; Терентьев, Кашулин, 2005; Kashulin et al., 2011). Поскольку оз.Имандра подвержено влиянию многофакторного антропогенного воздействия на протяжении многих десятилетий, как целостная экосистема оно испытывает градиентную нагрузку даже в самых удаленных от промышленных центров участках его акватории, в том числе и тяжелыми металлами.

На основе материалов предыдущих исследований и современных данных о содержании ТМ в органах и тканях обыкновенного сига Бабинской Имандры нами был проведен сравнительный анализ и выявлены закономерности накопления Ni, Cu, Zn, Mn, Sr в рыбах данного вида за продолжительный период – 1980-е гг. и по настоящее время (табл.9).

Таблица 9

Содержания (среднее значение) тяжелых металлов (мкг/г сух. веса) в органах малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг.

Период	Ni	Cu	Zn	Mn	Sr
Мышцы					
1980-е	0.6(0.3-1.1)	1.6(0.4-4.5)	37(5-51)	0.8(0.5-1.2)	7.5(2.3-14.0)
2011	0.8 (0.6-1.3)	0.8(0.58-1.29)	21(16-28)	1.9(0.78-6.53)	14.4(1.2-26.9)
Печень					
1980-е	1.2(0.8-1.7)	66(34-92)	176(139-214)	9.9(6.4-13.0)	4.1(1.6-10.0)
2011	1.3(0.4-2.6)	47(5-95)	230(55-434)	8.8(1.8-19.1)	2.3(0.2-8.0)
Почки					
1980-е	11.5(0.6-23.0)	11.0(6.4-19.0)	322(204-580)	7.3(2.3-18.0)	8.5(6.0-16.0)
2011	4.7(1.8-13.4)	8.1(2.7-13.1)	278(122-807)	4.8(1.4-19.3)	6.6(2.2-15.2)
Жабры					
1980-е	2.6(0.5-8.4)	3.7(2.0-4.9)	1521(634-2410)	35(28-47)	91(91-126)
2011	2.1(1.2-3.1)	2.1(1.4-6.3)	388(75-1187)	16(6-56)	126(3-171)
Скелет					
1980-е	5.3(4.4-6.1)	4.0(1.3-10.0)	430(143-892)	78(50-116)	455(268-623)
2011	5.5(3.3-12.5)	2.1(0.8-4.6)	148(82-227)	25(15-40)	529(276-857)

ПРИМЕЧАНИЕ. В скобках указаны пределы варьирования.

Никель. Накопление данного элемента в органах и тканях сига происходит неравномерно. Минимальные содержания никеля отмечались в мышечной ткани (менее 0.6 мкг/г сухого веса) и печени (1.2 мкг/г) (рис.9). Наиболее интенсивно никель концентрируется в скелете и почках рыб (органы-мишени), в которых обменные процессы проходят более интенсивно. У отдельных особей содержание никеля в почках в 1980-х гг. достигало 23 мкг/г (табл.9). У рыб современной популяции эти показатели не превышают 13.4 мкг/г. Рассматривая различия в накоплении никеля в органах сига за различные периоды исследований, можно отметить незначительное увеличение его концентраций в мышцах, печени и скелете рыб в настоящее время, однако указанные различия статистически недостоверны. Наиболее показательным в историческом масштабе является сравнение содержаний никеля именно в органе-мишени. При сопоставлении показателей накопления никеля в почках сига отмечается значительное снижение его накопления у рыб в настоящее время по сравнению с данными 1980-х гг. Очевидно, это свидетельствует об общем снижении аэротехногенной нагрузки никеля на акваторию плеса за последние десятилетия.

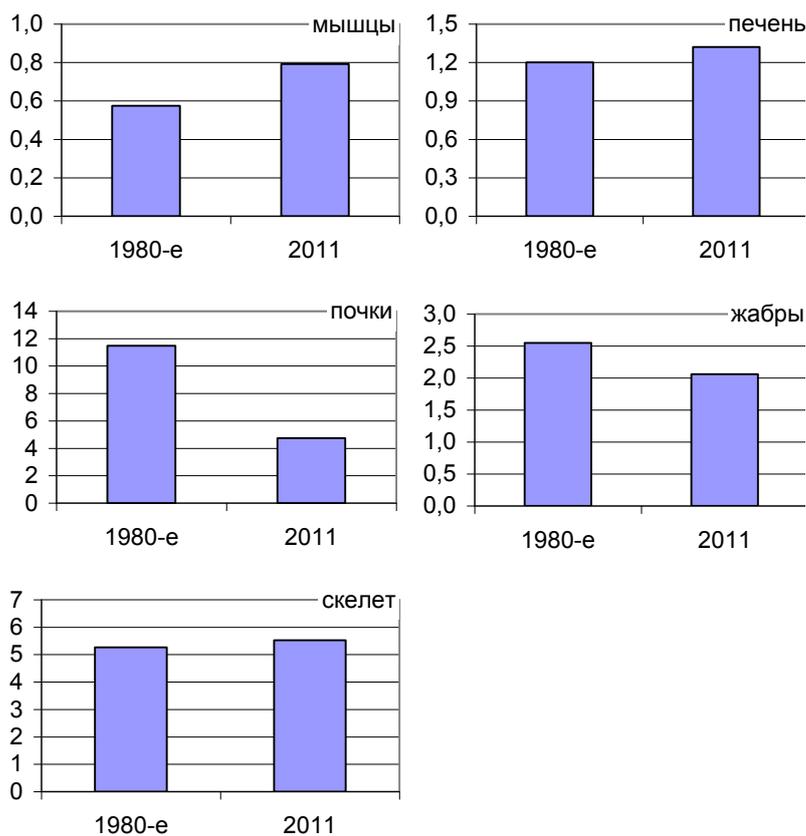


Рис.9. Содержание никеля в органах малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг. (мкг/г сух. веса)

Медь. Для данного элемента, являющегося, как и никель, приоритетным загрязняющим веществом региона, в целом для всех рассматриваемых органов было отмечено снижение содержания в организмах рыб по сравнению с предыдущими результатами (рис.10). Уровни накопления металла варьировали значительно. Если минимальные содержания меди составляли 0.4-2 мкг/г сухого веса (мышцы, жабры, скелет), то в печени сига были зарегистрированы концентрации меди 92-95 мкг/г. Причем указанные величины были отмечены как у рыб в период исследований 1980-х гг., так и в настоящее время (табл.9). Однако число рыб с содержанием меди в печени более 30 мкг/г у рыб в 2011 г. было ниже. По-видимому, это связано с более интенсивным поступлением меди в воды оз.Имандра и его водосборный бассейн от предприятия «Североникель», расположенного на расстоянии около 50 км от акватории Бабинской Имандры. Следует отметить, что подобные содержания сопоставимы с показателями сига, обитающего в непосредственной близости от предприятия «Печенганикель» (приграничный район России, Норвегии и Финляндии) (Kashulin et al., 2011). Несмотря на снижение аэротехногенной нагрузки и уровней непосредственного поступления меди в оз.Имандра в виде стоков промышленного производства, содержание меди в организмах отдельных особей остается на достаточно высоком уровне. Это может свидетельствовать о значительном «токсическом»

потенциале» накопленных объемов ее поступления на водосборную территорию водоема и возможном высвобождении и включении в биологические циклы из донных отложений водоемов.

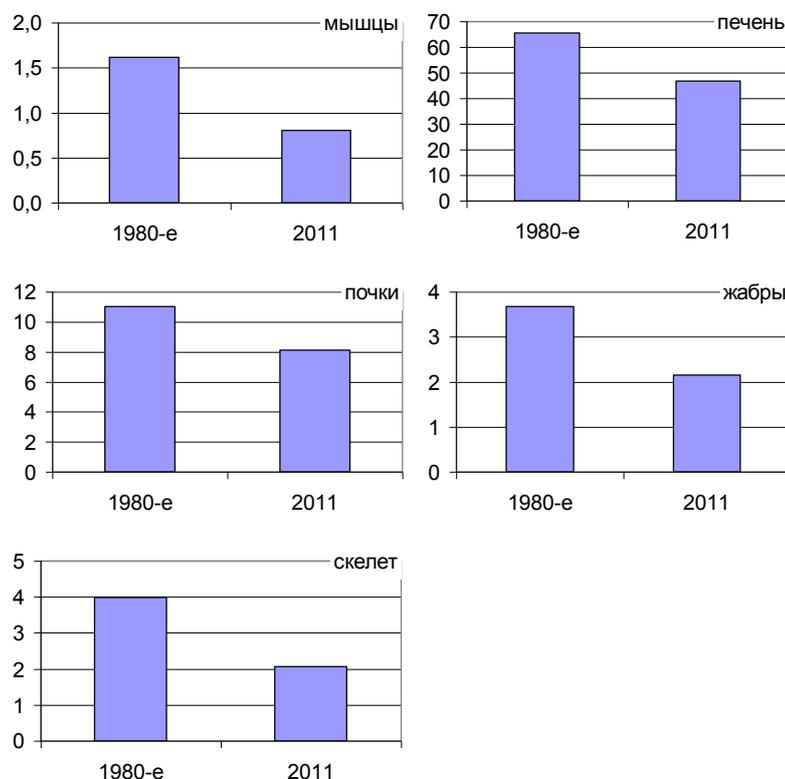


Рис.10. Содержание меди в органах малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг. (мкг/г сухого веса)

Цинк. Среди рассматриваемых элементов концентрации цинка в органах и тканях сига достигали самых высоких абсолютных показателей. Накопление цинка, как и меди, характеризуется значительным снижением в настоящее время. Аналогично процессам концентрирования других элементов в исследованных органах и тканях сига, минимальные уровни накопления цинка характерны для мышечной ткани, составляя в среднем 21-37 мкг/г сухого веса за весь период исследований (рис.11). Максимальные же величины (до 2410 мкг/г) отмечались в жабрах сига в 1980-х гг. (табл.9). Средние показатели содержания цинка в жабрах сига современной популяции значительно ниже (не превышают 400 мкг/г) по сравнению с аналогичными показателями предыдущих десятилетий. Очевидно, что антропогенная нагрузка цинка на акваторию Бабинской Имандры также значительно снизилась. Вместе с тем в печени и почках сига и в настоящее время регистрируются более высокие, чем в период 1980-х гг., содержания цинка, что также может быть связано с постоянным притоком цинка с территории водосбора озера и из донных отложений. Кроме того, следует учитывать и миграционную активность отдельных особей, которые могут заходить в акваторию плеса с северной части оз.Имандра.

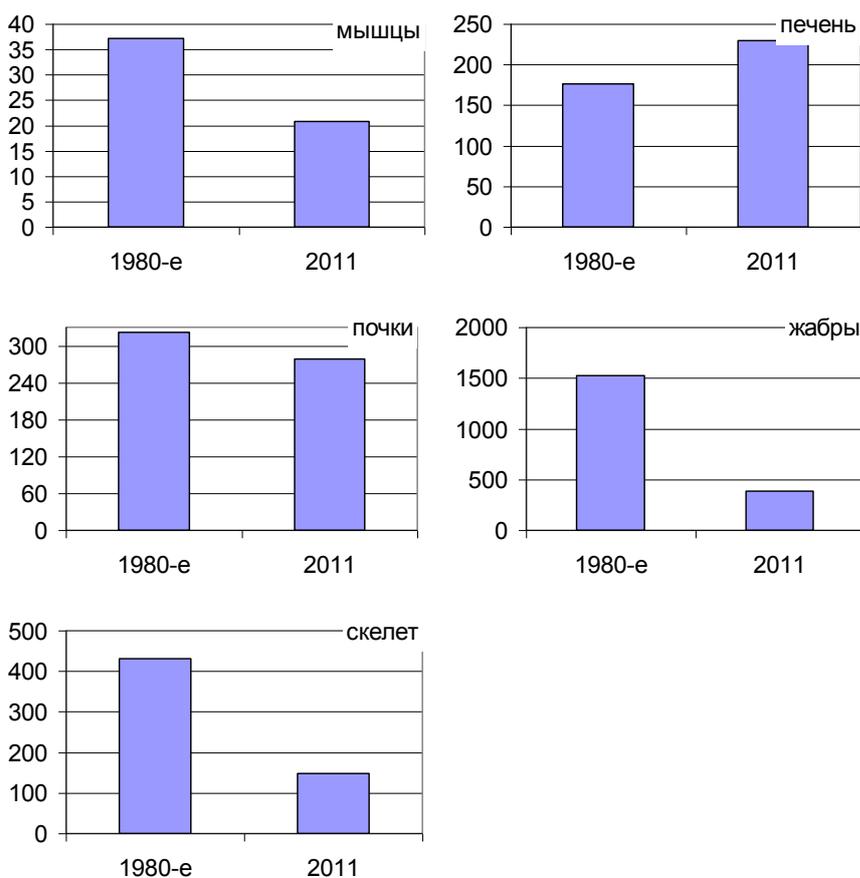


Рис.11. Содержание цинка в органах малотычинкового сига *C. lavaretus* *lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг. (мкг/г сух. веса)

Марганец. В характере накопления марганца в анализируемых органах сига были отмечены аналогичные цинку закономерности. В целом, за исключением мышечной ткани, отмечено значительное снижение его содержания в 2011 г. (рис.12). Минимальные показатели марганца в мышцах сига не превышали 0.5 (1980-е гг.) и 0.8 (2011 г.) мкг/г сухого веса. В органах, где накопление марганца было наиболее высоким, зафиксировано практически двух- (жабры) и трехкратное (скелет) снижение его содержания у рыб в 2011 г. (табл.9). Таким образом, по результатам сравнительного анализа также можно судить о снижении антропогенной нагрузки марганца на акваторию исследованного плеса оз.Имандра.

Стронций. В накоплении данного элемента не наблюдалось строгих закономерностей, однако, судя по органам, в которых его содержание достигает наиболее высоких значений (скелет, жабры), можно судить об увеличении нагрузки данного элемента на гидробионтов Бабинской Имандры по сравнению с 1980-ми гг. (рис.13). Средние величины накопления марганца в мышцах, печени и почках за весь рассматриваемый период варьировали в пределах 2.3-14.4 мкг/г сухого веса, а в жабрах и скелете эти величины составили 91-529 мкг/г

соответственно (табл.9). Причем в указанных органах наиболее высокие максимальные показатели содержания элемента достигали 171 и 857 мкг/г и были отмечены у рыб в настоящее время. Общая нагрузка стронция на организмы рыб и в целом на водосборный бассейн в настоящее время, по-видимому, определяется процессами атмосферного переноса данного элемента и может быть связана с усилением процессов глобального загрязнения.

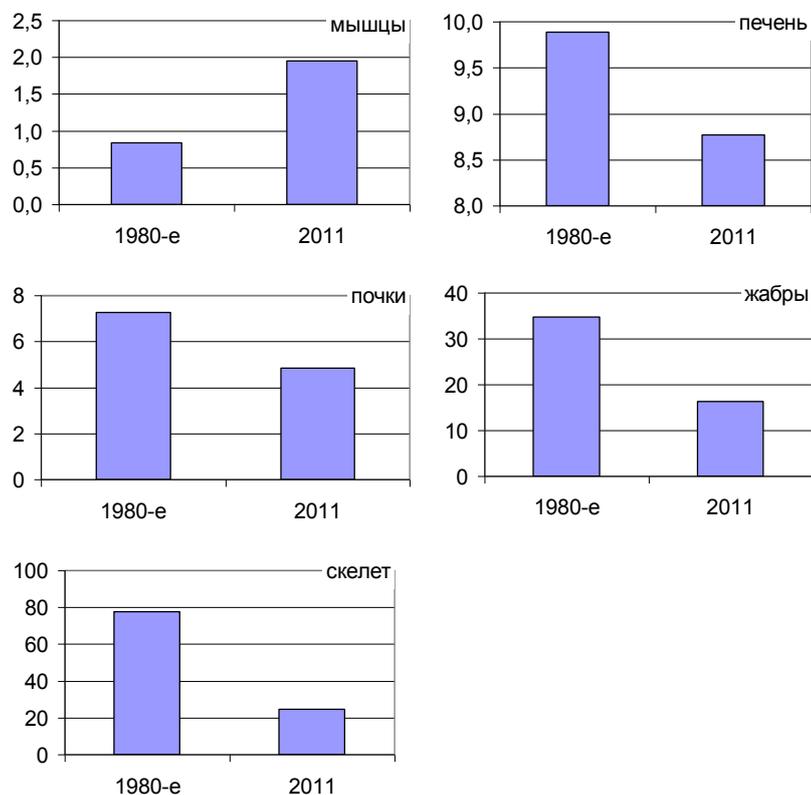


Рис.12. Содержание марганца в органах малотычинкового сига *C. lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг. (мкг/г сух. веса)

При исследовании уровней накопления тяжелых металлов на организмы рыб наиболее показательной является оценка их содержания в органах-мишенях, или индикаторах, в которых происходит максимальное концентрирование элементов. Среди рассматриваемых тяжелых металлов, за исключением стронция, на основании их накопления в указанных органах была выявлена четкая закономерность, характеризующаяся в снижении содержаний металлов в рыбах по мере исторического развития водоема (рис.14). Следует особо отметить, что за весь период наблюдений как в 1980-е гг., так и в настоящее время отмечено значительное варьирование содержания элементов в одних и тех же органах у различных экземпляров рыб. У отдельных организмов сига отмечаются особенно высокие и явно выбивающиеся из общего ряда величины содержаний металлов, что выражается в достаточно масштабных пределах стандартных ошибок и отклонений от среднего (рис. 14, табл.9).

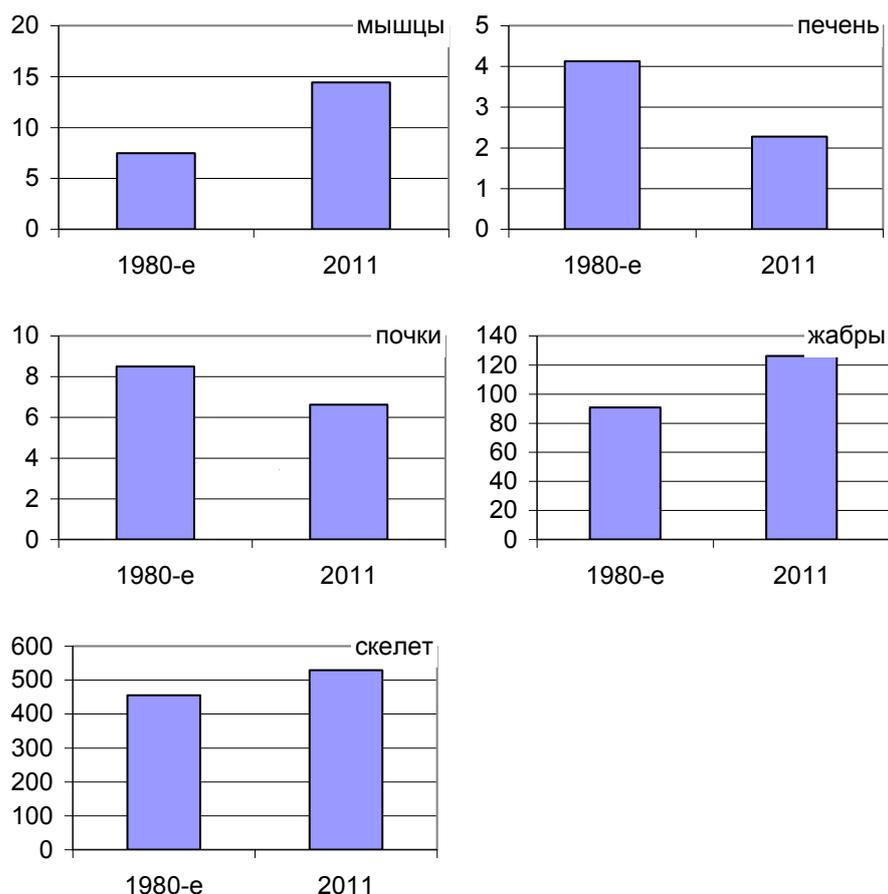


Рис.13. Содержание стронция в органах малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 гг. (мкг/г сух. веса)

Такие «экстремальные» значения отмечаются у рыб практически во всех водоемах региона, и их нельзя объяснить ошибкой химического анализа. Причины подобных явлений, вероятно, связаны с высокой миграционной активностью рыб, индивидуальными особенностями организмов, особенностями питания. В пределах исследованной акватории наиболее часто повышенные содержания металлов отмечены у сига, обитающего вблизи о.Хорт и открытой части Бабинской Имандры, нежели у рыб, отобранных в губе Кунчост. Вероятно, сигов указанной губы можно рассматривать как некую относительно изолированную от остальной части плеса озера группировку. При изучении особенностей накопления металлов в органах рыб плеса Бабинская Имандра необходимо также учитывать благоприятные условия для нагула рыб в губе Молочной, связанные с функционированием форелевого комплекса и постоянным притоком подогретых вод Кольской АЭС, обеспечивающих более мягкий температурный режим. Указанные условия могут обуславливать достаточно продолжительное пребывание сига практически со всей акватории рассматриваемого плеса в пределах губы Молочной. Следствием этого могут быть более высокие уровни накопления тяжелых металлов у отдельных особей, отмеченных нами в выборке.

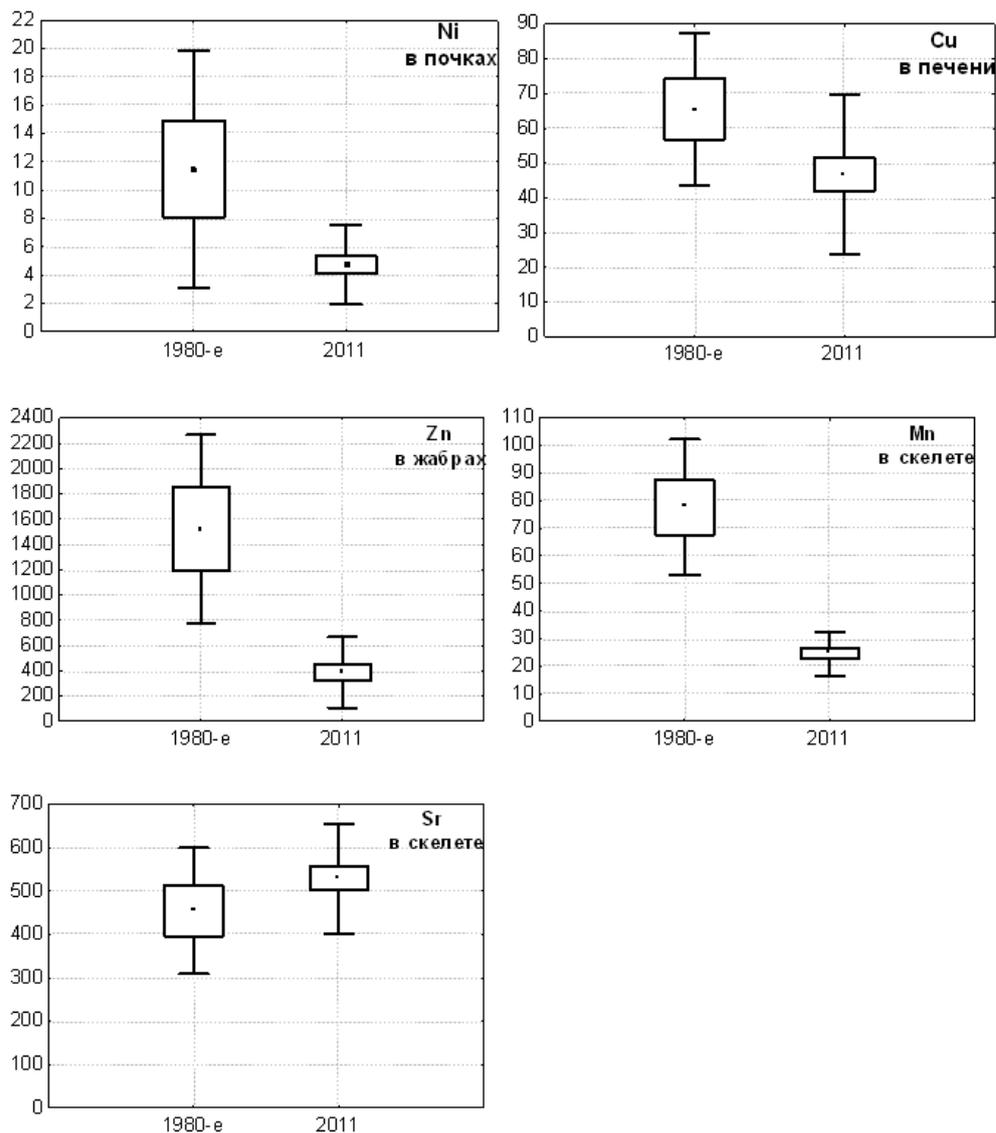


Рис.14. Содержание тяжелых металлов в органах-мишенях малотычинкового сига *C. lavaretus lavaretus* плеса Бабинская Имандра в 1980-х и 2011 г. ($\mu\text{кг/г}$ сух. веса)

Заключение

У малотычинкового сига плеса Бабинская Имандра в выборке 2011 г., в результате снижения техногенной нагрузки на оз.Имандра отмечается увеличение темпа роста по сравнению с 1996-1997 гг. Большие приросты наблюдаются здесь с первого по шестой год жизни, что является возможной причиной снижения количества возрастных групп в преднерестовых скоплениях сига от 10+ до 7+ с преобладанием рыб моложе шести лет. Это может быть также связано с высокой промысловой нагрузкой на оз.Имандра и изъятием

более крупных особей (Лукин и др., 2006; Решетников и др., 2011), что, в свою очередь, приводит к изменению темпа роста сига (Решетников, 1980).

В результате увеличения темпа роста у сегов в последнее десятилетие наблюдается смещение полового созревания самцов и самок на более ранний возраст (по сравнению с 1996-1997 гг.) с достижением оптимальных линейных размеров у впервые нерестящихся рыб. Было выявлено, что для впервые нерестящихся сегов более высокие темпы роста приводят к более раннему возрасту вступления в нерестовое стадо.

Установлено, что с общим увеличением темпов роста малотычинкового сига в настоящее время период его замедления у отдельных самцов и самок наступает со смещением на шестой и седьмой год жизни соответственно, в отличие от ситуации 1996-1997 гг., где снижение роста у обоих полов наблюдалось на восьмой год жизни. Показано, что снижение темпа роста рыб за исследуемый период происходит после массового нереста сегов.

Анализ уровней накопления тяжелых металлов в органах и тканях сига исследованного района выявил общую закономерность к снижению их содержания в настоящее время, что может свидетельствовать о значительном уменьшении аэротехногенной и непосредственной (связанной со стоками предприятий) нагрузки ТМ на акваторию Бабинской Имандры.

Содержание ряда металлов в отдельных органах сегов современной популяции свидетельствует о сохраняющемся «токсическом резерве» тяжелых металлов, накопленных на территории водосбора и седиментах водоема.

Открытость исследованного плеса и связь с системой оз.Имандра обуславливает миграцию рыб из более загрязняемых частей озера, что проявляется в отдельных «экстремальных» величинах накопления ТМ в исследованных органах.

На современном этапе функционирования крупнейшего водоема Мурманской обл. в условиях существующей антропогенной нагрузки Бабинская Имандра может рассматриваться как фоновый район при оценке состояния экосистемы оз. Имандра. При этом наиболее узко локализованным фоновым участком при изучении накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб исследованного плеса можно считать губу Кунчаст.

Литература

Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / отв. ред. Т.И.Моисеенко. – М.: Наука, 2002. – 403 с.

Богданов Г.А. О некоторых закономерностях линейного роста мелкой сельди Кандалакшского залива / Г.А.Богданов // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. – М.: Наука, 1966. – С.29-43.

Брюзгин В.Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам / В.Л.Брюзгин. – Киев: Наукова думка, 1969. – 188 с.

Вовк Ф.И. О методике реконструкции рыб по чешуе / Ф.И.Вовк // Труды биол. станции «Борок» АН СССР. – 1956. – Вып. 2. – С.351-392.

Галкин Г.Г. Атлас чешуи пресноводных костистых рыб / Г.Г.Галкин // Известия Всесоюз. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. – 1958. – Т. 46. – 105 с.

Галкин Г.Г. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области / Г.Г.Галкин, А.А.Коллюшев, В.В.Покровский // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1966. – С.177-193.

Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб / Ю.Ю.Дгебуадзе. – М.: Наука, 2001. – 276 с.

Замахаев Д.Ф. К вопросу о влиянии роста первых лет жизни рыбы на последующий ее рост / Д.Ф.Замахаев // Труды ВНИРО. – 1964. – Т. 50. – С.109-141.

Земская К.А. Методика изучения биологических свойств популяций рыб и их изменений / К.А.Земская // Труды ВНИРО. – 1964. – Т. 50. – С.39-44.

Зиновьев Е.А. Методы исследования пресноводных рыб: уч. пособие / Е.А.Зиновьев, С.А.Мандрица; Пермский гос. ун-т. – Пермь, 2003. – 113 с.

Кашулин Н.А. Рыбы малых озер Северной Фенноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения / Н.А.Кашулин. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – 130 с.

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

Кашулин Н.А. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона / Н.А.Кашулин и [др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. – Вып. 1. – С.6-53.

Коротаева С.Э. Эколого-популяционные особенности хариусов Приуралья: автореферат дис. ... канд. биол. наук / С.Э.Коротаева. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2003. – 23 с.

Кошелев Б.В. Некоторые закономерности роста и времени наступления первого икротетания у рыб / Б.В.Кошелев // Закономерности роста и созревания рыб. – М.: Наука, 1971. – С.186-218.

Крючков В.В. Экология водоемов-охладителей в условиях Заполярья / В.В.Крючков, Т.И.Моисеенко, В.А.Яковлев. – Апатиты: КФ АН СССР, 1985. – 132 с.

Лапин Ю.Е. О внутривидовых закономерностях созревания и динамики плодовитости у рыб / Ю.Е.Лапин, Ю.Г.Юровицкий // Журнал общей биологии. – 1959. – Т. 33, № 6.

Лукин А.А. Влияние промысла на состояние популяций сига *Coregonus lavaretus* L. в оз.Имандра / А.А.Лукин, Ю.Н.Шарова, Б.Ф.Прищепа // Вопросы ихтиологии. – 2006. – Т. 46, № 5. – С.383-391.

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

Михеев П.Б. Рост и некоторые биологические показатели нижеамурского хариуса *Thymallus tugarinae* (Thymallidae) из рек Кур и Нижняя Патха (Хабаровский край) / П.Б.Михеев // Пресноводные экосистемы р.Амур. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С.268-279.

Моисеенко Т.И. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера / Т.И.Моисеенко, В.А.Яковлев. – Л: Наука, 1990. – 219 с.

Моисеенко Т.И. Влияние аэротехногенного загрязнения на водный бассейн озер Субарктики и рыб / Т.И.Моисеенко и [др.] // Экология. – 1998. – № 2. – С.109-115.

Моисеенко Т.И. Влияние на рыб загрязнения субарктического водоема (на примере оз.Имандра): дисс. ...канд. биол. наук / Татьяна Ивановна Моисеенко. – Л.: ГосНИОРХ, 1983. – 228 с.

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

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

Моисеенко Т.И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории Шварца) / Т.И.Моисеенко // Экология. – 2000. – № 6. – С.463-313.

Моисеенко Т.И. Патологии рыб в загрязняемых водоемах Субарктики и их диагностика / Т.И.Моисеенко, А.А.Лукин // Вопросы ихтиологии. – 1999. – Т. 39, № 4. – С.535-547.

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

Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб / Г.В.Никольский. – М.: Наука, 1965. – 380 с.

Никольский Г.В. Экология рыб / Г.В.Никольский. – М.: Высш. шк. – 1963. – 368 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф.Правдин. – М.: Пищ. пром-ть, 1966. – 376 с.

Решетников Ю.С. Динамика рыбной части сообщества в изменяющихся условиях обитания (на примере оз.Имандра) / Ю.С.Решетников, В.Г.Терещенко, А.А.Лукин // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 6. – С.48-51.

Решетников Ю.С. Особенности воспроизводства сиговых рыб / Ю.С.Решетников, В.Д.Богданов // Вопросы ихтиологии. – 2011. – Т. 51, № 4. – С.502-525.

Решетников Ю.С. Особенности роста и созревания сигов в водоемах Севера / Ю.С.Решетников // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. – М.: Наука, 1966. – С.93-155.

Решетников Ю.С. Функционирование и восстановление северных экосистем / Ю.С.Решетников, О.А.Попова // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: сборник научных статей. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. – Ч. 1. С.219-24.

Решетников Ю.С. Экология и систематика сиговых рыб / Ю.С.Решетников. – М.: Наука, 1980. – 301 с.

Рихтер Г.Д. Обзор работы Имандровской экспедиции за 1924-1926 гг. / Г.Д.Рихтер. – Л.: Изд. упр. Мурман. ж.д., 1927. – 136 с.

Рихтер Г.Д. Очерки исследований оз.Имандра / Г.Д.Рихтер // Работы Мурманской биологической станции. – Мурманск. – 1926. – Т.2. – С.32-68.

Смирнов В.В. Формирование годовых зон роста на чешуе байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* / В.В.Смирнов, Н.С.Смирнова-Залуми // Вопросы ихтиологии. – 1993. – Т. 33, № 1. – С.121-129.

Терентьев П.М. Особенности динамики популяций рыб в водоемах Кольского Севера в условиях их аэротехногенного загрязнения: автореферат дис. ... канд. биол. наук / П.М.Терентьев. Петрозаводск, 2005. – 28 с.

Терентьев П.М. Особенности сезонной динамики накопления тяжелых металлов в организмах рыб в условиях аэротехногенного загрязнения / П.М.Терентьев, Н.А.Кашулин // Комплексность использования минерально-сырьевых ресурсов основа повышения экологической безопасности региона: сборник материалов II школы молодых ученых и специалистов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С.129-138.

Терентьев П.М. Современное состояние ихтиофауны Бабинской Имандры / П.М.Терентьев, Н.А.Кашулин // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: сборник научных статей. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. – С.235-239.

Чернова О.Ф. Архитектоника чешуи костистых рыб и ее диагностическое значение / О.Ф.Чернова, Ю.Ю.Дгебуадзе. – М.: Наука, 2008. – 136 с.

Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб / Н.И.Чугунова. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 164 с.

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

Шмальгаузен И.И. Определение основных понятий и методика исследования роста / И.И.Шмальгаузен // Рост животных. – М.-Л., 1935. – С.8-60.

Siwertsson A. Temporal stability in gill raker numbers of subarctic European whitefish populations / A.Siwertsson, R.Knudsen, Per-Arne Amundsen // *Advanc. Limnol.* – 2008. – № 63. – P.229-240.

Kashulin N.A. Specific features of accumulation of Cu, Ni, Zn, Cd, and Hg in two whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) morphs inhabiting the Inari–Pasvik lacustrine–riverine system / N.A.Kashulin [et al.] // *Inland water biology.* – 2011. – V. 4, № 3. – P.383-392.

State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area / K.Stebel, G.N.Christensen, J.Derome and I.Grekelä (editors) // *The Finnish Environment.* – 2007. – Vol. 7. – 88 p.

Oosten J. Van. The whitefishes (*Coregonus clupeaformis*). A study of the scales of whitefishes of known ages / J. Van Oosten // *Zoologica.* – 1923. – V. II, № 17. – P.381-412.

Trudel M. Estimating food consumption rates of fish using a mercury mass balance model / M.Trudel // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2000. – № 57. – P.414-428.