

УДК 597.553.2-116(28)

## Изменения возраста смолтификации атлантического лосося (*Salmo salar* L.) рек Иоканьга, Харловка и Восточная Лица (Мурманская область)

С. И. Долотов\*, Д. О. Кузьмин

\*Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства  
и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), г. Мурманск, Россия;  
e-mail: [dolotov@pinro.ru](mailto:dolotov@pinro.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-2068>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
09.03.2022

### Ключевые слова:

атлантический лосось,  
производители,  
смолты,  
пестрятки,  
возраст смолтификации,  
длительность речного  
нагула

Во всем мире в последние десятилетия наблюдается сокращение численности атлантического лосося, основной причиной которого является снижение его выживаемости при морском нагуле. Ее величина имеет прямую зависимость от длины и, соответственно, возраста смолтов. Зарубежными исследователями установлено, что характер долговременных изменений возрастной структуры смолтов может существенно различаться по регионам. При этом возраст атлантического лосося рек России, на которые приходится значительная часть ареала рыб этого вида, не рассматривался. В этой связи проведен анализ многолетних данных, характеризующих возрастную состав смолтов лосося ряда рек Мурманской области. Установлено, что в период с 2000 по 2018 гг. в реках Иоканьга, Харловка и Восточная Лица происходила трансформация возрастной структуры смолтов, в результате которой среди них практически перестали встречаться рыбы с 6 годами нагула, существенно уменьшилось количество рыб в возрасте 5+ и значительно возросла доля особей возрастных групп 3+ или 4+. Наиболее вероятной причиной этого является изменение с середины 1990-х гг. температурного режима рек, в результате которого сократилась продолжительность пребывания в реках молоди лосося. Омоложение контингента смолтов может иметь неоднозначные последствия для численности нерестовых мигрантов лосося, которая определяется суммарным эффектом от снижения естественной смертности на этапе от икры до смолтов, увеличения их количества, уменьшения их длины, и снижения выживаемости при нагуле лососей в море.

### Для цитирования

Долотов С. И. и др. Изменения возраста смолтификации атлантического лосося (*Salmo salar* L.) рек Иоканьга, Харловка и Восточная Лица (Мурманская область). Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 2. С. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-2-101-109>.

## Changes in the smoltification age of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of the Yokanga, Kharlovka and Vostochnaya Litsa Rivers (the Murmansk Region)

Sergei I. Dolotov\*, Dmitriy O. Kuzmin

\*Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography  
("PINRO" named after N. M. Knipovich), Murmansk, Russia;  
e-mail: [dolotov@pinro.ru](mailto:dolotov@pinro.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-2068>

### Article info

Received  
09.03.2022

### Key words:

Atlantic salmon,  
adults, smolts, parr,  
smoltification age,  
duration of feeding  
in rivers

### Abstract

Throughout the world, in recent decades, there has been a decrease in the abundance of Atlantic salmon, the main reason for which is a decrease in its survival rate during life at sea. Its value has a direct dependence on the length and, accordingly, the age of the smolts. Foreign researchers have found that the nature of long-term changes in the age structure of smolts can vary significantly by region. At the same time, the age of Atlantic salmon in Russian rivers, which account for a significant part of the area of the range of this species, was not considered. In this regard, the analysis of long-term data characterizing the age composition of salmon smolts of some rivers of the Murmansk region has been carried out. It has found been that in the first years of the period 2000–2018, the age structure of Atlantic salmon smolts was transformed in the rivers Yokanga, Kharlovka and Vostochnaya Litsa. As a result, fish at the age of 6 ceased to occur among them, the abundance of fish at the age of 5+ significantly decreased and the abundance of fish in the age groups of 3+ or 4+ significantly increased. The most likely reason for this is the change in the temperature regime of rivers since the mid-1990s, as a result of which the life time in the rivers of juvenile salmon has been reduced. Rejuvenation of the smolt population may have ambiguous consequences for the abundance of adult salmon, which are determined by the cumulative effect of reducing natural mortality at the stage from eggs to smolts, increasing their abundance and reducing their length, and reducing the survival rate during salmon life in the sea.

### For citation

Dolotov, S. I. et al. 2022. Changes in the smoltification age of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of the Yokanga, Kharlovka and Vostochnaya Litsa Rivers (the Murmansk Region). *Vestnik of MSTU*, 25(2), pp. 101–109. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-2-101-109>.

## Введение

Атлантический лосось – анадромный вид рыб, в ряде стран являющийся популярным объектом промышленного и любительского рыболовства. Его жизненный цикл представлен речным нагулом молоди, ее смолтификацией и скатом в море, морским нагулом, а также речным периодом, связанным с нерестовой миграцией и нерестом взрослых лососей. Атлантический лосось естественных популяций из рек России бассейна Баренцева и Белого морей имеет второе официальное название – семга.

В последние десятилетия численность атлантического лосося сокращается на большей части ареала, и существенную роль в этом играет увеличение его смертности при морском нагуле (Hansen et al., 1998; Potter et al., 2000; Friedland et al., 2005; 2009). Ее величина, в свою очередь, имеет обратную зависимость от длины и, соответственно, возраста смолтов (Jokikokko et al., 2006; Friedland et al., 2009; Antonsson et al., 2010), так как их средняя длина ощутимо изменяется вместе с возрастом (Шустов, 1983; Кузьмин и др., 1988; 1989; Веселов и др., 1998; Долотов, 2007; Økland и др., 1993, и мн. др.). Наличие этих закономерностей формирования численности атлантического лосося обуславливает актуальность изучения возраста его смолтификации, поскольку возрастные изменения молоди могут повлечь за собой рост или уменьшение количества анадромных мигрантов. Результаты таких исследований достаточно широко представлены в зарубежной научной литературе (Swansburg et al., 2002; Baglinière et al., 2004; Davidson et al., 2005; Jonsson et al., 2005; Aprahamian et al., 2008 и мн. др.). В частности, установлено, что наличие, выраженность и характер изменений возраста смолтификации существенно различаются по отдельным регионам (Russell et al., 2012). У семги рек России, на которые приходится значительная часть ареала атлантического лосося, данный аспект биологии остается не изученным.

Цель настоящей работы – исследовать изменения возраста смолтификации семги рек Иоканьга, Харловка и Восточная Лица в период с конца 1990-х по 2021 гг.

## Материалы и методы

Объектами исследования являлись популяции семги рек Иоканьга, Харловка и Восточная Лица, водосборные территории которых расположены в восточной части баренцевоморского побережья Мурманской области (рис. 1).

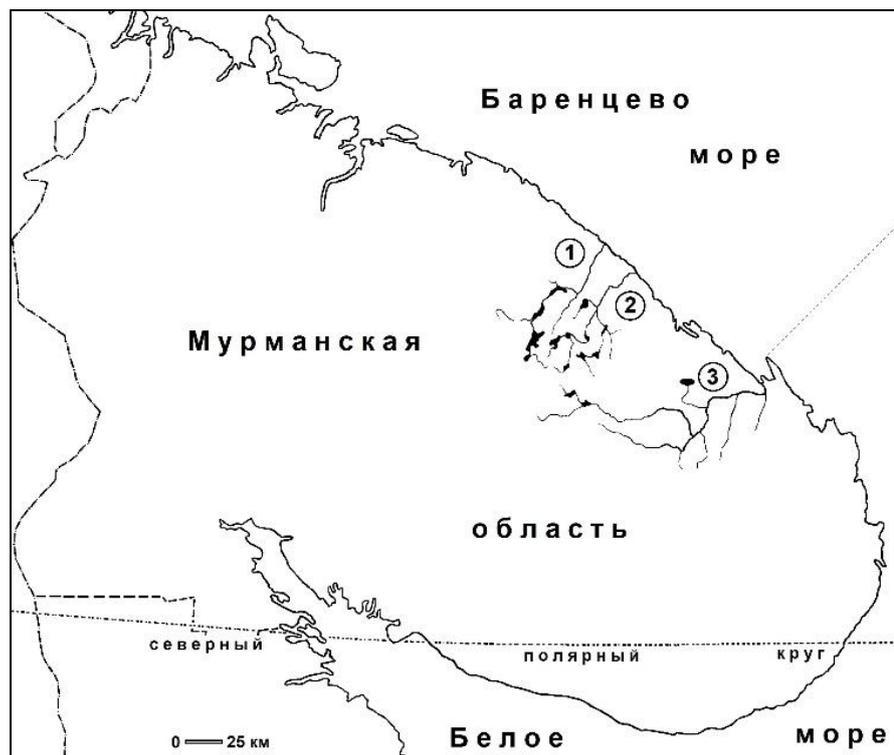


Рис. 1. Расположение рек Харловка (1), Восточная Лица (2) и Иоканьга (3) в Мурманской области  
Fig. 1. Location of the Kharlovka (1), Vostochnaya Litsa (2) and Yokanga (3) Rivers in the Murmansk Region

Возраст смолтификации семги притока р. Иоканьга (р. Лыльйок) определялся по чешуе, отбравшейся непосредственно со смолтов (покатников<sup>1</sup>) в 1998–2004 гг., когда было собрано и обработано 1 066 чешуйных

<sup>1</sup> Покатник (смолт) – научное название молоди проходных лососей, поведенчески и физиологически готовой к миграции из реки в море.

проб. Данные, характеризующие средний возраст, длину и возрастную структуру покатников в этот период, были опубликованы ранее (Долотов, 2007, табл. 9, 10).

На реках Харловка и Восточная Лица в 2001–2021 гг. сбор чешуи производился с нерестовых мигрантов (производителей) семги. Всего было собрано и обработано 6 878 чешуйных проб. При анализе структуры чешуи определялся "речной возраст" производителей, соответствующий длительности речного нагула пестряток (молодь лосося до начала смолтификации) и возрасту, в котором начинается процесс их смолтификации. Также оценивался "морской возраст", соответствующий продолжительности жизни лососей в море. Из массива полученных данных исключались повторно нерестующие рыбы, составляющие очень незначительную часть нерестового стада (Реестр..., 2011). Средний речной возраст рассчитывался только исходя из количества лососей, возвратившихся в реку на первый нерест. В итоге для всех лет периода 2001–2021 гг. определен состав нерестовых мигрантов семги по речному и морскому возрастам.

На основе этих данных проводилась реконструкция возрастной структуры смолтов для времени, предшествующего возвратам производителей в 2001–2021 гг. Поскольку морской возраст обследованных впервые нерестующих лососей в реках Харловка и Восточная Лица изменялся от 1 года до 3 лет, количество покатников в возрастной группе  $X$  в год  $N$  определялось суммой числа производителей с речным возрастом  $X$ , зашедших в реку в годы  $N + 1$ ,  $N + 2$  и  $N + 3$ . Таким образом, возрастной состав смолтов был полностью восстановлен для всех лет периода 2000–2018 гг.

Сбор чешуйных материалов и определение границ годовых зон на чешуе проводились по апробированным методикам (Мартынов, 1987).

Динамика межгодовых изменений возрастных показателей анализировалась с применением функции скользящего среднего с трехлетними периодами сглаживания (Грешилев и др., 1997).

## Результаты

В 2001–2021 гг. динамика межгодовых изменений среднего речного возраста нерестовых мигрантов семги рек Харловка и Восточная Лица была сходной и характеризовалась снижением с 4,6–4,8 до 3,8 года с последующим переходом к умеренным колебаниям относительно четырехлетнего уровня (рис. 2).

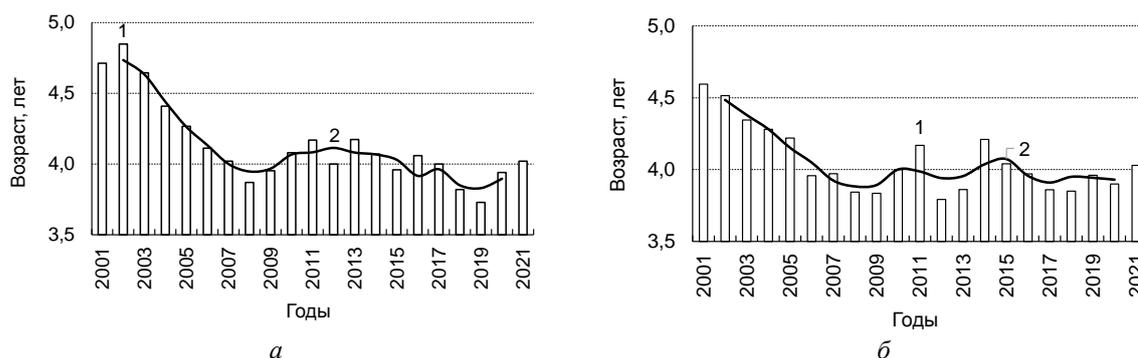


Рис. 2. Средний речной возраст производителей семги рек Харловка (а) и Восточная Лица (б) в 2001–2021 гг.

1 – ежегодные значения; 2 – график функции скользящего среднего

Fig. 2. Average river age of adult salmon of the Kharlovka (a) and Vostochnaya Litsa (b) Rivers in 2001–2021. 1 – annual values; 2 – graph of the moving average function

Средний речной возраст производителей лосося определяется возрастным составом смолтов, скатившихся из рек в годы, предшествующие возврату лососей на нерест. В результате реконструкции возрастного состава покатников в 2000–2018 гг. было установлено следующее. В реке Харловка рыбы возрастной группы 2+ встречались только в 2012 г. и в очень незначительном – менее 1,5 % – количестве. Доля смолтов в возрасте 3+ до 2006 г. демонстрировала устойчивый рост с 3–4 % до 28 %, с последующим снижением до 8 % и переходом к колебаниям в границах 9–22 % (рис. 3, а). Количество рыб возрастной группы 4+ характеризовалось ростом с 36–38 % в 2001–2002 гг. до устойчивого нахождения в интервале 70–80 % в 2012–2018 гг. (рис. 3, б). Доля смолтов в возрасте 5+ снижалась с 52 % в 2000 г. до 15 % в 2005 и 2006 гг., в дальнейшем перейдя к колебаниям от 3,8 до 29 % с преобладанием значений менее 20 % (рис. 3, в). Процент покатников возрастной группы 6+ резко снизился в 2002 г. В 2005 и 2006 гг. он уменьшился до близких к нулю значений, после чего рыбы этого возраста отмечались только в 2012 г., когда их было менее 1 % (рис. 3, г).

Сходные процессы наблюдались в возрастной структуре смолтов семги в реке Восточная Лица. Так, рыбы в возрасте 2+ отмечались только в течение 4 лет, при этом их доля в конкретный год не превышала 0,8 %. Количество покатников в возрасте 3+ демонстрировало устойчивый рост с 9–12 % в 2000 и 2001 гг. до 25 % в 2006 г., после чего снизилось до 13 % и перешло к колебаниям в границах 9–22 % (рис. 3, д).

Число рыб возрастной группы 4+ возросло с 39 % в 2000 г. до значений, находящихся в интервале 70–90 %, и с 2014 г. стабильно превышало уровень 70 % (рис. 3, е). Доля рыб в возрасте 5+ снизилась с 43 % в 2000 г. до 13 % в 2006 г., с 2007 г. варьировала в пределах 2–30 % и в большинстве случаев не превышала 13 % (рис. 3, ж). Количество покатников возрастной группы 6+ резко сократилось с 2004 г. С 2008 г. рыбы данной возрастной категории уже не встречались (рис. 3, з).

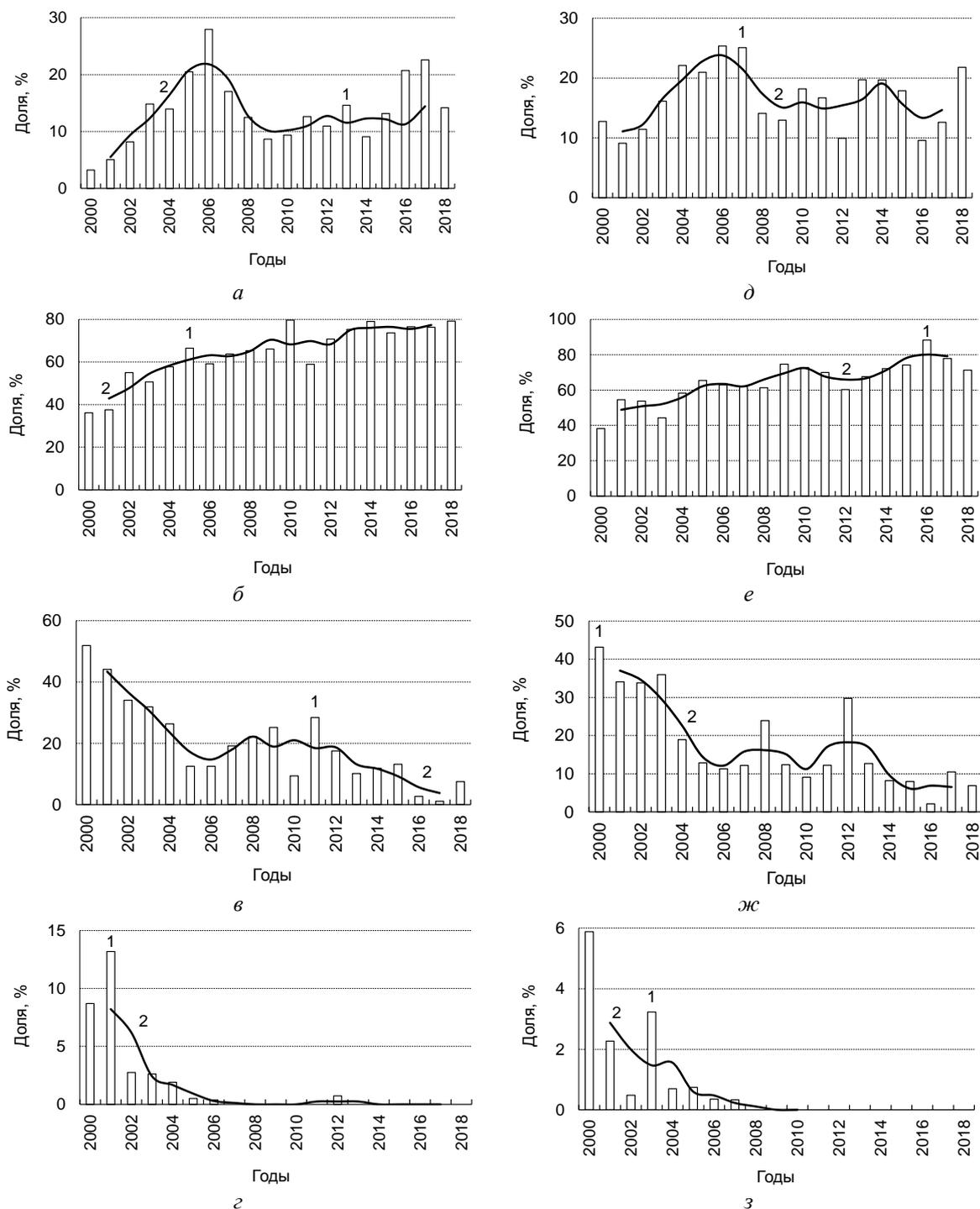


Рис. 3. Доля смолтов семги разного возраста в 2000–2018 гг. в реках Харловка (а – 3+, б – 4+, в – 5+, г – 6+) и Восточная Лица (д – 3+, е – 4+, жс – 5+, з – 6+). 1 – ежегодные значения; 2 – график функции скользящего среднего  
 Fig. 3. The proportion of salmon smolts of different ages in 2000–2018 in the Kharlovka (а – 3+, б – 4+, в – 5+, г – 6+) and Vostochnaya Litsa Rivers (д – 3+, е – 4+, жс – 5+, з – 6+). 1 – annual values; 2 – graph of the moving average function

Представленные данные показывают, что в популяциях семги рек Харловка и Восточная Лица в первые годы периода 2000–2018 гг. несколько возросла доля смолтов в возрасте 3+, значительно увеличилась доля рыб возрастной группы 4+, существенно сократилось число смолтов в возрасте 5+ и 6+, при этом количество покатников с 6 годами нагула в итоге снизилось до нуля. После этого вплоть до 2018 г. изменения возрастного состава смолтов не имели четко выраженной направленности.

В последние годы XX – первые годы XXI вв. определенная перестройка возрастной структуры происходила и у покатников семги в притоке реки Иоканьга (р. Лыльйок), где они изначально были представлены теми же возрастными группами, что и в реках Харловка и Восточная Лица, отличаясь только несколько большей долей и частотой встречаемости рыб в возрасте 2+. В реке Лыльйок в 1998–2004 гг. изменение количества смолтов возрастных групп 2+ и 4+ не имело определенной тенденции (рис. 4, а, в).

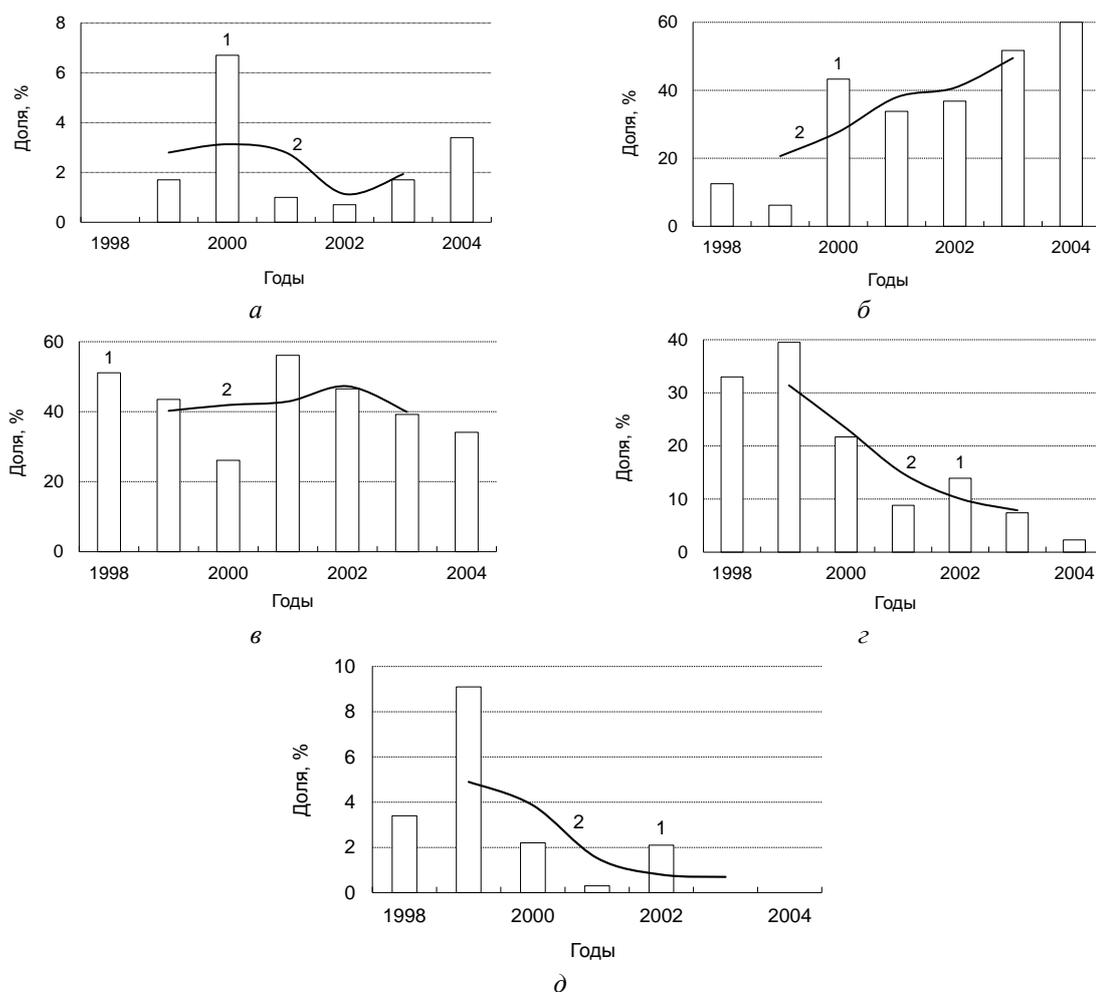


Рис. 4. Доля смолтов семги разного возраста в притоке реки Иоканьга (р. Лыльйок) в 1998–2004 гг.: а – 2+, б – 3+, в – 4+, г – 5+, д – 6+. 1 – ежегодные значения;

2 – график функции скользящего среднего

Fig. 4. The proportion of salmon smolts of different ages in the tributary of the Yokanga River (Lylyok River) in 1998–2004: а – 2+, б – 3+, в – 4+, г – 5+, д – 6+.

1 – annual values; 2 – graph of the moving average function

Доля покатников в возрасте 3+ характеризовалась увеличением от уровня 6–12 % в 1998–1999 гг. до 50–60 % в 2003 и 2004 гг. Ее выраженный рост начался в 2000 г. (рис. 4, б). Количество смолтов возрастной группы 5+ уменьшилось с 30–40 % в 1998–1999 гг. до уровня 2–8 % в 2003–2004 гг., и его первое значительное снижение также относится к 2000 г. (рис. 4, г). В этом же году резко снизилась доля рыб в возрасте 6+. В 2003 и 2004 гг. она сократилась до нуля (рис. 4, д). Также существенно изменились средний возраст смолтов – с 4,2–4,4 года в 1998 и 1999 гг. до 3,5–3,3 года в 2003 и 2004 гг., и их длина – с 17,2 до 15,0 см в начале и конце периода 1998–2004 гг. соответственно (Долотов, 2007).

## Обсуждение

Несмотря на некоторые различия в динамике долей отдельных возрастных групп, изменения возрастной структуры покатников в реках Иоканьга, Харловка и Восточная Лица в целом имели весьма сходный характер – в первые годы периода 2000–2018 гг. в каждой реке количество рыб сократилось практически до нуля в возрастной группе 6+, существенно уменьшилось в возрастной группе 5+ и значительно возросло в возрастной группе 3+ или 4+.

При обсуждении возможных причин формирования перечисленных изменений возрастного состава смолтов следует учитывать, что в целом их возраст имеет выраженную прямую зависимость от темпа роста пестряток – чем он выше, тем в более раннем возрасте начинается процесс их смолтификации (*Metcalfe et al., 1989; Økland et al., 1993*). В свою очередь, рост пестряток может быть связан с процессами, зависящими от плотности популяции (*Gibson, 1993; Jenkins et al., 1999; Imre et al., 2005; Gurney et al., 2008; Bal et al., 2011*) и/или с изменениями теплового режима реки, который воздействует на скорость роста опосредованно, через изменения уровня кормовой базы, интенсивности физиологических процессов, регулирующих рост, а также продолжительности периода, в течение которого пестрятки могут активно питаться и расти (*Metcalfe et al., 1990; Jonsson et al., 2005*).

Если вариации плотности расселения могут быть индивидуальны для каждой лососевой популяции, то температурный режим рек, расположенных в одном регионе, определяется общими для всей его территории свойствами климата, поскольку изменение температуры воздуха в районах, прилегающих к их акватории, является ведущим фактором, определяющим динамику температуры воды (*Филатов и др., 2012*). Исходя из этого, в качестве наиболее вероятной причины выявленных изменений возраста смолтификации, весьма сходных по времени и характеру у семги трех разных популяций, следует предположить изменение температурного режима рек, обусловленное трансформацией климата, произошедшей на территории Мурманской области.

Поскольку контингент смолтов формируется из числа пестряток, обитавших в реке в предшествующие годы, по максимальной продолжительности их нагула и времени, когда впервые были отмечены выраженные изменения возрастного состава покатников, можно ориентировочно определить годы начала существенных изменений температурного режима водотоков. Исходя из этого начало изменений в реках Иоканьга, Харловка и Восточная Лица следует отнести к середине 1990-х гг. Это предположение в целом согласуется и с данными по динамике среднегодовой температуры воздуха в Мурманской области, рост которой отмечен также с середины последнего десятилетия XX века, а увеличение его интенсивности – по мере приближения 2000-х гг. (*Демин, 2012*).

Снижение возраста смолтов может иметь неоднозначные последствия для численности нерестового стада атлантического лосося. Его выживаемость при нагуле в море имеет четкую положительную корреляцию с длиной покатников (*Jokikokko et al., 2006; Friedland et al., 2009; Antonsson et al., 2010*), которая, в свою очередь, имеет прямую зависимость от их возраста (*Шустов, 1983; Кузьмин и др., 1988; 1989; Веселов и др., 1998; Долотов, 2007; Økland и др., 1993, и мн. др.*), на что указывают и наши данные по возрасту и длине смолтов в притоке реки Иоканьга. Из этого следует, что снижение возраста смолтификации семги рассматриваемых рек неизбежно сопровождалось определенным уменьшением длины покатников и, соответственно, снижением выживаемости лососей в морской период жизни. Однако сокращение длительности речного нагула пестряток, вызвавшее снижение возраста смолтификации, приводит также к росту общей выживаемости молоди на этапе от икры до смолтов и, как следствие, к увеличению количества покатников. В итоге при заметных трансформациях их возрастной структуры характер тенденций численности производителей атлантического лосося будет определяться неизученным до настоящего времени балансом эффектов от изменений выживаемости пестряток при речном нагуле, количества и длины смолтов, и выживаемости лососей при нагуле в море (*Stearns, 1992; Roff, 1992*).

## Заключение

В первые годы периода 2000–2018 гг. у атлантического лосося рек Иоканьга, Харловка и Восточная Лица произошла заметная трансформация возрастной структуры покатников, в результате которой среди них практически перестали встречаться рыбы с 6 годами нагула, существенно уменьшилось количество рыб в возрасте 5+ и значительно возросла доля рыб возрастной группы 3+ или 4+. Наиболее вероятной причиной омоложения контингента смолтов является изменение с середины 1990-х гг. температурного режима рек, в результате которого сократилась длительность речного нагула пестряток и, как следствие, снизился возраст, в котором начинается их смолтификация. Произошедшее уменьшение возраста смолтов может иметь неоднозначные последствия для численности нерестовых мигрантов семги, уровень которой в итоге будет определяться суммарным эффектом от снижения естественной смертности на этапе от икры до смолтов, увеличения количества и уменьшения длины покатников, и снижения выживаемости при нагуле лососей в море.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Веселов А. Е., Казаков Р. В., Сысоева М. Н. Закономерности катадромной миграции смолтов атлантического лосося // Атлантический лосось. СПб. : Наука, 1998. С. 242–265.
- Грещилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. М. : Радио и связь, 1997. 112 с.
- Долотов С. И. Атлантический лосось р. Иоканьга: биология, воспроизводство, эксплуатация запасов. Мурманск : ПИНРО, 2007. 100 с.
- Демин В. И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3(10). С. 98–110.
- Мартынов В. Г. Сбор и первичная обработка биологических материалов из промысловых уловов атлантического лосося : метод. рекомендации. Сыктывкар, 1987. 36 с.
- Кузьмин О. Г., Яковенко М. Я., Лоенко А. А., Неклюдов М. Н. Характеристика ската молоди семги из рек юго-восточной части Кольского п-ова // III Всесоюзное совещание по лососевидным рыбам : тез. докл. Тольятти, 1988. С. 166–167.
- Кузьмин О. Г., Яковенко М. Я., Щуров И. Л., Шустов Ю. А. [и др.]. Семга *Salmo salar* L. р. Умба // Семга *Salmo salar* р. Умбы (естественное и искусственное воспроизводство) : практ. рекомендации. Петрозаводск : КФ АН СССР, 1989. С. 37–40.
- Реестр лососевых рек Мурманской области. Бассейн Баренцева моря / под общ. ред. Б. Ф. Прищепы. Мурманск : ПИНРО, 2011. 344 с.
- Филатов Н. Н., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Семенов А. В. [и др.]. Изменения и изменчивость климата Европейского Севера России и их влияние на водные объекты // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2(6). С. 80–93.
- Шустов Ю. А. Экология молоди атлантического лосося. Петрозаводск : Карелия, 1983. 152 с.
- Arahamian M. W., Davidson I. C., Cove R. J. Life history changes in Atlantic salmon from the River Dee, Wales // *Hydrobiologia*. 2008. Vol. 602, Iss. 1. P. 61–78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9286-3>.
- Antonsson T., Heidarsson T., Snorrason S. S. Smolt emigration and survival to adulthood in two Icelandic stocks of Atlantic salmon // *Transactions of the American Fisheries Society*. 2010. Vol. 139, Iss. 6. P. 1688–1698. DOI: <https://doi.org/10.1577/t08-200.1>.
- Baglinière J. L., Denais L., Rivot E., Porcher J. P. [et al.]. Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002 // Rennes Technical Report, Institut National de la Recherche Agronomique and Conseil Supérieur de la Pêche, 2004. 24 p.
- Bal G., Rivot E., Prévost E., Piou C. [et al.]. Effect of water temperature and density of juvenile salmonids on growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar* // *Journal of Fish Biology*. 2011. Vol. 78, Iss. 4. P. 1002–1022. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02902.x>.
- Davidson I. C., Hazlewood M. S. Effects of climate change on salmon fisheries. Science Report W2-047/SR, Bristol : Environment Agency. 2005. 52 p.
- Friedland K. D., Chaput G., MacLean J. C. The emerging role of climate in post-smolt growth of Atlantic salmon // *ICES Journal of Marine Science*. 2005. Vol. 62, Iss. 7. P. 1338–1349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.04.013>.
- Friedland K. D., MacLean J. C., Hansen L. P., Peyronnet A. J. [et al.]. The recruitment of Atlantic salmon in Europe // *ICES Journal of Marine Science*. 2009. Vol. 66, Iss. 2. P. 289–304. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn210>.
- Gibson R. J. The Atlantic salmon in fresh water: Spawning, rearing and production // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 1993. Vol. 3, Iss. 1. P. 39–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00043297>.
- Gurney W. S. C., Bacon P. J., Tyldesley G., Youngson A. F. Process-based modelling of decadal trends in growth, survival, and smolting of wild salmon (*Salmo salar*) parr in a Scottish upland stream // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. Vol. 65, Iss. 12. P. 2606–2622. DOI: <https://doi.org/10.1139/f08-149>.
- Hansen L. P., Quinn T. P. The marine phase of Atlantic salmon (*Salmo salar*) life cycle, with comparison to Pacific salmon // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1998. Vol. 55, Iss. S 1. P. 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1139/d98-010>.
- Imre I., Grant J. W. A., Cunjak R. A. Density-dependent growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar* in Catamaran Brook, New Brunswick // *Journal of Animal Ecology*. 2005. Vol. 74, Iss. 3. P. 508–516. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00949.x>.
- Jenkins T. M., Diehl S., Kratz K. W., Cooper S. D. Effects of population density on individual growth of brown trout in streams // *Ecology*. 1999. Vol. 80, N 3. P. 941–956. DOI: <https://doi.org/10.2307/177029>.
- Jonsson N., Jonsson B., Hansen L. P. Does climate during embryonic development influence parr growth and age of seaward migration in Atlantic salmon (*Salmo salar*)? // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2005. Vol. 62, Iss. 11. P. 2502–2508. DOI: <https://doi.org/10.1139/f05-154>.

- Jokikokko E., Kallio-Nyberg I., Saloniemi I., Jutila E. The survival of semi-wild, wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts of the Simojoki River in the Baltic Sea // *Journal of Fish Biology*. 2006. Vol. 68, Iss. 2. P. 430–442. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00892.x>.
- Metcalf N. B., Huntingford F. A., Graham W. D., Thorpe J. E. Early social status and the development of life-history strategies in Atlantic salmon // *Proceedings of the Royal Society of London. B. Biological Sciences*. 1989. Vol. 236, Iss. 1282. P. 7–19. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1989.0009>.
- Metcalf N. B., Thorpe J. E. Determinants of geographical variation in the age of seaward-migrating salmon, *Salmo salar* // *Journal of Animal Ecology*. 1990. Vol. 59, N 1. P. 135–145. DOI: <https://doi.org/10.2307/5163>.
- Potter E. C. E., Crozier W. W., Mills D. A. Perspective on the marine survival of Atlantic salmon // *The Ocean Life of Atlantic salmon: Environmental and Biological Factors Influencing Survival* / ed.: D. Mills. Oxford : Fishing News Books, 2000. P. 19–36.
- Roff D. A. The evolution of life histories. Theory and analysis. 1992. New York : Chapman and Hall, 535 p.
- Russell I. C., Miran W., Aprahamian M. W., Barry J. [et al.]. The influence of the freshwater environment and the biological characteristics of Atlantic salmon smolts on their subsequent marine survival // *ICES Journal of Marine Science*. 2012. Vol. 69, Iss. 9. P. 1563–1573. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr208>.
- Stearns S. C. The evolution of life histories. London : Oxford University Press, 1992. 262 p.
- Swansburg E., Chaput G., Moore D., Caissie D. [et al.]. Size variability of juvenile Atlantic salmon: Links to environmental conditions // *Journal of Fish Biology*. 2002. Vol. 61, Iss. 3. P. 661–683. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00903.x>.
- Økland F., Jonsson B., Jensen A. J., Hansen L. P. Is there a threshold size regulating seaward migration of brown trout and Atlantic salmon? // *Journal of Fish Biology*. 1993. Vol. 42, Iss. 4. P. 541–550. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00358.x>.

## References

- Veselov, A. E., Kazakov, R. V., Sysoeva, M. N. 1998. Regularities of catadromic migration of Atlantic salmon smolts. In *Atlantic salmon*. Saint Petersburg, pp. 242–265. (In Russ.)
- Greshilov, A. A., Stakun, V. A., Stakun, A. A. 1997. Mathematical methods of forecasting. Moscow. (In Russ.)
- Dolotov, S. I. 2007. Atlantic salmon of the Yokanga River: Biology, dynamics of stock, exploitation of stock. Murmansk. (In Russ.)
- Demin, V. I. 2012. The main climatic trends on the Kola Peninsula during the period of instrumental meteorological measurements. *Trudy kolskogo nauchnogo tsentra RAN*, 3(10), pp. 98–110. (In Russ.)
- Martynov, V. G. 1987. Collection and primary processing of biological materials from commercial catches of Atlantic salmon (methodological recommendations). Syktyvkar. (In Russ.)
- Kuzmin, O. G., Yakovenko, M. Ya., Loenko, A. A., Neklyudov, M. N. 1988. Characteristics of migration of juvenile salmon from the rivers of the south-eastern part of the Kola Peninsula. Abstract of reports *III All-Union Meeting on Salmon-like Fish*. Tol'yatti, pp. 166–167. (In Russ.)
- Kuzmin, O. G., Yakovenko, M. Ya., Shchurov, I. L., Shustov, Yu. A. et al. 1989. Salmon *Salmo salar* L. of the River Umba. In *Salmon Salmo salar L. of the River Umba (natural and artificial reproduction)* (methodological recommendations). Petrozavodsk. (In Russ.)
- Register of salmon rivers of the Murmansk Region. The Barents Sea basin. 2011. Ed. B. F. Prishchepa. Murmansk. (In Russ.)
- Filatov, N. N., Nazarova, L. E., Georgiev, A. P., Semenov, A. V. et al. 2012. Climate changes and variability in the European North of Russia and their impact on water bodies. *Arctic: Ecology and Economy*, 2(6), pp. 80–93. (In Russ.)
- Shustov, Yu. A. 1983. Ecology of Atlantic salmon juveniles. Petrozavodsk. (In Russ.)
- Aprahamian, M. W., Davidson, I. C., Cove, R. J. 2008. Life history changes in Atlantic salmon from the River Dee, Wales. *Hydrobiologia*, 602(1), pp. 61–78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9286-3>.
- Antonsson, T., Heidarsson, T., Snorrason, S. S. 2010. Smolt emigration and survival to adulthood in two Icelandic stocks of Atlantic salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139(6), pp. 1688–1698. DOI: <https://doi.org/10.1577/t08-200.1>.
- Baglinière, J. L., Denais, L., Rivot, E., Porcher, J. P. et al. 2004. Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002. *Rennes Technical Report*, Institut National de la Recherche Agronomique and Conseil Supérieur de la Pêche.
- Bal, G., Rivot, E., Prévost, E., Piou, C. et al. 2011. Effect of water temperature and density of juvenile salmonids on growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, 78(4), pp. 1002–1022. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02902.x>.
- Davidson, I. C., Hazlewood, M. S. 2005. Effects of climate change on salmon fisheries. Science Report W2-047/SR, Bristol.
- Friedland, K. D., Chaput, G., MacLean, J. C. 2005. The emerging role of climate in post-smolt growth of Atlantic salmon. *ICES Journal of Marine Science*, 62(7), pp. 1338–1349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.04.013>.

- Friedland, K. D., MacLean, J. C., Hansen, L. P., Peyronnet, A. J. et al. 2009. The recruitment of Atlantic salmon in Europe. *ICES Journal of Marine Science*, 66(2), pp. 289–304. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn210>.
- Gibson, R. J. 1993. The Atlantic salmon in fresh water: Spawning, rearing and production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 3(1), pp. 39–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00043297>.
- Gurney, W. S. C., Bacon, P. J., Tyldesley, G., Youngson, A. F. 2008. Process-based modelling of decadal trends in growth, survival, and smolting of wild salmon (*Salmo salar*) parr in a Scottish upland stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(12), pp. 2606–2622. DOI: <https://doi.org/10.1139/f08-149>.
- Hansen, L. P., Quinn, T. P. 1998. The marine phase of Atlantic salmon (*Salmo salar*) life cycle, with comparison to Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(S 1), pp. 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1139/d98-010>.
- Imre, I., Grant, J. W. A., Cunjak, R. A. 2005. Density-dependent growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar* in Catamaran Brook. New Brunswick. *Journal of Animal Ecology*, 74(3), pp. 508–516. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00949.x>.
- Jenkins, T. M., Diehl, S., Kratz, K. W., Cooper, S. D. 1999. Effects of population density on individual growth of brown trout in streams. *Ecology*, 80(3), pp. 941–956. DOI: <https://doi.org/10.2307/177029>.
- Jonsson, N., Jonsson, B., Hansen, L. P. 2005. Does climate during embryonic development influence parr growth and age of seaward migration in Atlantic salmon (*Salmo salar*)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(11), pp. 2502–2508. DOI: <https://doi.org/10.1139/f05-154>.
- Jokikokko, E., Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I., Jutila, E. 2006. The survival of semi-wild, wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts of the Simojoki River in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology*, 68(2), pp. 430–442. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00892.x>.
- Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A., Graham, W. D., Thorpe, J. E. 1989. Early social status and the development of life-history strategies in Atlantic salmon. *Proceedings of the Royal Society of London. B. Biological Sciences*, 236(1282), pp. 7–19. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1989.0009>.
- Metcalfe, N. B., Thorpe, J. E. 1990. Determinants of geographical variation in the age of seaward-migrating salmon, *Salmo salar*. *Journal of Animal Ecology*, 59(1), pp. 135–145. DOI: <https://doi.org/10.2307/5163>.
- Potter, E. C. E., Crozier, W. W., Mills, D. A. 2000. Perspective on the marine survival of Atlantic salmon. In *The Ocean Life of Atlantic salmon: Environmental and Biological Factors Influencing Survival*. Ed. D. Mills. Oxford, pp. 19–36.
- Roff, D. A. The evolution of life histories. Theory and analysis. 1992. New York.
- Russell, I. C., Miran, W., Aprahamian, M. W., Barry, J. et al. 2012. The influence of the freshwater environment and the biological characteristics of Atlantic salmon smolts on their subsequent marine survival. *ICES Journal of Marine Science*, 69(9), pp. 1563–1573. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr208>.
- Stearns, S. C. 1992. The evolution of life histories. London.
- Swansburg, E., Chaput, G., Moore, D., Caissie, D. et al. 2002. Size variability of juvenile Atlantic salmon: Links to environmental conditions. *Journal of Fish Biology*, 61(3), pp. 661–683. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00903.x>.
- Økland, F., Jonsson, B., Jensen, A. J., Hansen, L. P. 1993. Is there a threshold size regulating seaward migration of brown trout and Atlantic salmon? *Journal of Fish Biology*, 42(4), pp. 541–550. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00358.x>.

#### Сведения об авторах

**Долотов Сергей Иванович** – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), ст. науч. сотрудник, канд. биол. наук; e-mail: [dolotov@pinro.ru](mailto:dolotov@pinro.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-2068>

**Sergei I. Dolotov** – 6 Akademika Knipovicha Str., Murmansk, Russia, 183038; Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("PINRO" named after N. M. Knipovich), Researcher, Cand. Sci. (Biology); e-mail: [dolotov@pinro.ru](mailto:dolotov@pinro.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-2068>

**Кузьмин Дмитрий Олегович** – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), специалист; e-mail: [kuzmin@pinro.ru](mailto:kuzmin@pinro.ru)

**Dmitriy O. Kuzmin** – 6 Akademika Knipovicha Str., Murmansk, Russia, 183038; Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("PINRO" named after N. M. Knipovich), Specialist; e-mail: [kuzmin@pinro.ru](mailto:kuzmin@pinro.ru)