

ИССЛЕДОВАНИЕ СМОЛТИФИКАЦИИ ЗАВОДСКОЙ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ

Л. И. ПЕСТРИКОВА, Т. В. ШАМРАЙ

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), Мурманск

Методом солевых тестов исследовали физиологическое состояние атлантического лосося на рыбозаводских заводах Мурманской области, выращиваемой для целей воспроизводства и товарного выращивания в морских садках. Выявлена недостаточная подготовленность молоди к выпуску в естественные условия и переводу в море и несбалансированность осморегуляционной системы лососей при использовании существующей биотехники выращивания.

L. I. PESTRIKOVA, T. V. SHAMRAI. A STUDY OF HATCHERY-REARED ATLANTIC SALMON SMOLTIFICATION

Salt tests were employed to study the physiological status of the Atlantic salmon reared in the Murmansk region hatcheries in sea pens for reproduction and commercial farming purposes. The parr was found to be insufficiently prepared for release into the wild and transfer to the sea, current aquaculture practices leading to an osmoregulatory imbalance.

Исследование смолтификации молоди атлантического лосося выращиваемого на рыбозаводах Мурманской области при различных термических режимах, для целей воспроизводства и культивирования в морских садках представляет большой практический интерес для оценки физиологического состояния рыб, степени выживаемости, срокам выпуска и ската лососей в море.

Несмотря на то, что изменения осморегуляции у разных видов лососевых рыб возникают в различном возрасте, встречаются общие признаки, которые обобщены в обзорных работах по смолтификации (Ноаг, 1976, 1988; Jobling, [1998]):

– все виды толерантны к незначительным изменениям солености окружающей среды; постепенный перенос в морскую воду более благоприятен для рыб, чем внезапный;

– крупные особи более толерантны к морской воде по сравнению с более мелкими особями популяции;

– изменения в приспособляемости к морской воде проявляются сезонно, обычно рыбы более толерантны весной и ранним летом, чем осенью и зимой;

– стадия смолта непродолжительна. У рыб, не попавших в морскую среду в этот промежуток времени, начинается обратный процесс – десмолтификация;

– сезонные изменения толерантности к морской воде, связанные со смолтификацией, определяются факторами окружающей среды, в особенности фотопериодом и температурой.

Как правило, в практике рыбководства при оценке готовности молоди к выпуску ориентируются на внешние признаки. Однако эти признаки смолтификации, описанные целым рядом

исследователей (Анализ..., 1983; Штерман, 1985; Казаков, Веселов, 1998), такие как стайное поведение, степень серебрения, экстерьер, размеры рыб, часто не соответствуют физиологическому состоянию. Осморегуляционная система такой молоди, по внешним признакам соответствующей смолту, далека от завершения перестройки по гипоосмотическому типу (Черницкий, 1994). Непродолжительный промежуток времени (т.н. окно смолтификации) (Ноаг, 1988), когда лососи наиболее толерантны к морской среде и могут менять тип осморегуляции без значительных потерь, можно выявить только опытным путем.

Известно, что концентрация осмотически активных ионов плазмы крови несмолтифицированных лососей, обитающих в пресной воде, относительно постоянна (Ноаг, 1988). Вместе с тем, сведения о величине содержания этих ионов достаточно противоречивы. По различным литературным данным концентрация ионов натрия составляет от 117 ммоль/л (Справочник по физиологии ..., 1986), 120 ммоль/л (Parry, 1966, Virtanen, 1987) до 130-155 ммоль/л (Folmar, Dickhoff, 1980), 152 ммоль/л (Черницкий, 1983), 145-150 ммоль/л (Анализ..., 1983). Пределы колебаний этого показателя могут изменяться и в более широких пределах – 90-174 ммоль/л (Natochin, Lavrova, 1974).

В наших экспериментах у атлантического лосося в пресной воде прослеживается взаимосвязь массы и изменения концентрации ионов Na в плазме крови. У более мелкой рыбы выше содержание Na и ниже изменчивость этого признака (табл. 1).

Кроме натрия, в водно-солевом обмене активно участвует калий. По литературным данным концентрация этого иона у пресноводных лососей изменяется от 3 ммоль/л до 6 ммоль/л (Folmar, Dickhoff, 1980). По нашим данным, нижняя граница колебаний этого показателя меньше. Концентрация ионов K в плазме не является постоянной, она изменяется от 0,8 ммоль/л до 9,5 ммоль/л (табл. 1). Обращают на себя внимание необычно высокие коэффициенты вариации данного признака – до 74,5%. В целом, изменчивость содержания ионов K значительно выше, чем Na. Очевидно, это связано с его малыми абсолютными значениями по сравнению с концентрациями других ионов, в том числе и Na.

Таблица 1. Концентрация натрия и калия в плазме крови при содержании атлантического лосося в пресной воде

Дата	n, экз.	Масса рыбы, г	Концентрация ионов	
			M±m, ммоль/л	CV, %
<i>Натрий</i>				
15.05.89	10	46,5±3,2	124,4±6,4	16,2
29.05.89	12	49,5±2,8	122,1±5,2	14,7
25.04.90	15	38,6±1,5	148,7±3,5	9,1
15.05.90	16	41,6±1,4	155,8±4,1	10,5
20.06.03	10	30,5±1,3	167,7±3,9	6,2
21.06.03	12	28,7±2,1	154,8±4,3	8,9
<i>Калий</i>				
15.05.89	9	46,5±3,2	0,8±0,2	74,5
29.05.89	12	49,5±2,8	2,4±0,5	72,1
25.04.90	15	38,6±1,5	5,1±0,7	36,1
15.05.90	16	41,6±1,4	2,2±0,4	43,9
20.06.03	10	30,5±1,3	4,8±0,3	13,9
21.06.03	12	28,7±2,1	9,5±0,7	22,6

Сведения об изменении ионного состава сыворотки при начале смолтификации противоречивы. В литературе описано повышение осмолярности (Краюшкина, 1976), понижение (Fontain, 1975), отсутствие изменений (Parry, 1966), а также сложные изменения, связанные с массой рыб и степенью смолтификации (Houston, 1961).

У особей, обитающих в морской воде длительное время, ионный состав крови отличается от пресноводного уровня. Так, у взрослых лососей в море концентрация ионов натрия составляет 212 ммоль/л, калия 3,15 ммоль/л (Справочник по физиологии ..., 1986), по другим данным содержание ионов натрия ниже – около 170 ммоль/л (Gordon, 1959), 160-200 ммоль/л (Folmar, Dickhoff, 1980). Нами показано, что у атлантического лосося, содержащегося в садках на Баренцевом море около двух лет этот показатель стабилизировался на уровне 150 ммоль/л (Пестрикова, 1995).

Таким образом, ионный состав плазмы крови исследованных нами рыб не всегда согласуется с литературными данными. Можно предположить, что в экспериментах использовались особи с различными стадиями перестройки системы осморегуляции. Полученные показатели представляют собой фоновые значения для выполнения солевых тестов при разведении лососевых в условиях Заполярья.

Широко применяемый в мировом лососеводстве метод солевых тестов ранее не использовался в практике рыбоводных заводов Мурманской области. Оценка выращиваемой рыбы с точки зрения готовности ее к скату и жизни в морской среде представляет несомненный практический интерес.

В экспериментах был использован атлантический лосось, выращенный с использованием подогрева воды на Верхнетуломском рыбзаводе в 1989-90 гг. (смолт-1 и смолт-2) и в естественных условиях на Кандалакшском и Князегубском рыбоводных заводах в 2003 г. Смолт-1 – рыба в возрасте 1 год, смолт-2 – двухгодовики, молодь с более медленным темпом роста.

Наблюдения за физиологическими показателями смолтов в пресной воде выполняли с марта по май 1990 г. За 7 недель длина и масса смолта-1 значительно увеличились, а у смолта-2 остались без изменений. Концентрация ионов натрия в плазме крови обеих групп рыб уже в начале второй декады апреля начала повышаться по сравнению с предыдущими величинами (табл. 2). Это связано, очевидно, с процессом преадаптации, которая начинается в пресной воде (Черницкий, Штерман, 1981). Интересно,

что у смолта-1 содержание ионов натрия остается высоким (более 160 ммоль/л), а у смолта-2 этот показатель в середине мая снижается (табл. 2).

В 1990 г. на экспериментальной базе ПИПРО в губе Ура Баренцева моря были выполнены солевые тесты в середине и конце мая (табл. 3). Показано, что в первом случае молодь семги является полноценным смолтом – концентрация ионов Na повышается в течение 18 часов пребывания в воде соленостью 25-30, затем начинает плавно снижаться и стабилизируется на уровне, характерном для морского образа жизни (150 ммоль/л). Во втором, несмотря на то, что величина содержания ионов Na ниже пороговой, принятой для солевых тестов (170 ммоль/л), динамика колебаний этого показателя подразумевает несбалансированность осморегуляторной системы. Возможно, в конце мая у смолтов семги уже начались десмолтификационные изменения.

Учитывая вышеизложенные результаты, в 1990 г. наблюдения за динамикой изменения содержания ионов натрия в плазме крови при переводе в морскую воду были начаты на 3 недели раньше.

Таблица 2. Морфофизиологические показатели молоди атлантического лосося на Верхнетуломском рыбоводном заводе, март-май 1990 г.

Дата	n, экз.	Длина		Масса		Содержание натрия	
		M±m, см	CV (%)	M±m, г	CV (%)	M±m, ммоль/л	CV (%)
<i>Смолт-1</i>							
26.03	30	13,0±0,2	8,6	22,0±0,8	21,4	121,5±3,8	9,8
11.04	10	15,4±0,3	6,0	36,6±2,0	17,4	154,5±4,1	8,5
24.04	15	15,3±0,3	8,2	36,9±3,4	35,5	167,8±7,5	15,5
15.05	10	15,9±0,3	6,7	39,6±3,4	27,1	161,4±4,2	7,9
<i>Смолт-2</i>							
26.03	45	16,3±0,2	7,5	45,2±1,6	23,5	129,6±2,5	11,1
11.04	10	17,1±0,3	6,3	50,0±3,3	20,8	152,6±3,0	6,3
24.04	15	16,4±0,3	7,6	45,2±2,5	21,0	163,6±2,1	4,6
15.05	10	15,9±0,4	8,9	40,8±1,6	20,4	154,4±3,5	7,1

Таблица 3. Изменения содержания ионов Na при прямом переводе атлантического лосося в морскую воду (1989 г.)

Среда обитания	Концентрация ионов Na, ммоль/л	
	15.05, масса 46,5±3,2 г., n=60	29.05, масса 49,5±2,8 г., n=65
Пресная вода	124,4±6,4	122,1±5,2
Морская вода (соленость 25-30)		
6 ч	142,2±4,1	141,0±3,8
12 ч	150,7±3,2	151,3±4,0
18 ч	155,2±4,1	139,3±5,9
24 ч	151,6±3,9	162,0±6,4
36 ч	148,0±5,3	145,6±4,3

У годовиков атлантического лосося (смолт-1) в середине апреля повышение ионного уровня отмечено уже через 6 ч пребывания в море. Максимального значения этот показатель достиг через 24 ч. В дальнейшем наблюдалось постепенное снижение концентрации ионов натрия (табл. 4). Во второй декаде мая мы наблюдали иную динамику. Достоверное повышение значения рассматриваемого нами показателя произошло через сутки пребывания в соленой воде, затем после значительного снижения через 60 ч отмечено резкое увеличение концентрации ионов (табл. 4). Очевидно, в апреле осморегуляторная система годовиков семги более адаптирована к смене среды обитания.

Изменения содержания ионов натрия у смолта-2 (двухгодовики) противоположны таковым у смолта-1 (табл. 5). Резкое, высоко-амплитудное повышение значения этого показателя (до 217,6 ммоль/л) зафиксировано в апреле через 48 ч пребывания в море. Подобное изменение у смолта-1 отмечалось в середине мая (табл. 4). В солевом тесте, выполненном во второй декаде мая, таких значительных изменений концентрации натрия у смолта-2 не отмечалось (табл. 5). Через сутки пребывания в море и до конца со-

левого теста уровень натрия оставался примерно одинаковым – около 180 ммоль/л.

Очевидно, перестройка осморегуляционной системы смолта-1 и смолта-2 происходит со смещением в 3 недели. В конце апреля смолт-1 уже готов к пересадке в море, а у смолта-2 осморегуляционная система еще не перестроилась на гиперосмотический тип. В середине мая смолт-2 является полноценным посадочным материалом, а у смолта-1 т.н. окно смолтификации уже позади и начинается обратный процесс – десмолтификация. Длительность периода, наиболее благоприятного для пересадки рыбы в морскую воду, невелика – 2-3 недели.

В 2003 г. на Княжегубском и Кандалакшском рыбободных заводах была выполнена серия солевых тестов перед выпуском молоди атлантического лосося в реки. Результаты представлены в таблицах 6 и 7. Несмотря на то, что молодь атлантического лосося по размерам и внешнему виду считалась смолтом, осморегуляторная система этих рыб физиологически не всегда подготовлена к смене среды обитания. Наиболее успешно поддерживают ионный гомеостаз особи из пруда Кандалакшского завода.

Таблица 4. Изменение концентрации ионов Na в плазме крови атлантического лосося при прямом переводе в морскую воду океанической солености (смолт-1, масса рыб 40 г)

Среда обитания	Концентрация ионов Na в плазме крови					
	25-26.04.90 г.			15-16.05.90 г.		
	M±m, ммоль/л	CV, %	n, экз.	M±m, ммоль/л	CV, %	n, экз.
Пресная вода	141,4±11,1	24,3	17	157,9±5,7	13,3	14
Морская вода (соленость32-34)						
6 ч	179,6±5,2	8,6	10			
12 ч	181,8±3,1	5,4	10	163,0±3,0	5,5	10
24 ч	191,1±5,4	8,3	10	197,1±8,1	11,6	8
36 ч	187,5±9,0	13,6	8	172,4±5,1	8,4	8
48 ч	185,1±10,0	17,1	10	178,8±5,3	5,9	4
60 ч				204,0±9,1	10,0	5

Таблица 5. Изменение концентрации ионов Na в плазме крови атлантического лосося при прямом переводе в морскую воду океанической солености (смолт-2, масса рыб 45 г)

Среда обитания	Концентрация ионов Na в плазме крови					
	25-26.04.90 г.			15-16.05.90 г.		
	M±m, ммоль/л	CV, %	n, экз.	M±m, ммоль/л	CV, %	n, экз.
Пресная вода	148,7±5,4	15,8	19	155,8±4,1	10,8	17
Морская вода (соленость32-34)						
6 ч	170,3±2,5	4,6	10			
12 ч	186,1±6,1	10,3	10	166,6±4,3	8,1	10
24 ч	184,9±6,2	10,1	9	181,5±6,6	11,5	10
36 ч	174,6±6,2	11,3	10	183,5±7,6	12,5	9
48 ч	217,6±19,0	26,2	9	187,2±8,9	10,6	6
60 ч				186,3±8,3	12,6	7

Таблица 6. Изменение концентрации осмотически активных ионов при выполнении солевого теста (Князегубский рыболовный завод, июнь 2003 г.)

Среда	Цех (масса рыб 17,7±1,2 г)		Форелевая канава (масса рыб 18,0±0,5 г)	
	Na, ммоль/л	K, ммоль/л	Na, ммоль/л	K, ммоль/л
Пресная	137,3	2,0	148,5	3,3
Морская	225	9,1	149	4,4

Таблица 7. Изменение содержания осмотически активных ионов в плазме крови молоди семги при проведении солевого теста, Кандалакшский рыболовный завод, 20-21.06.03 (соленость воды 15)

Среда	Содержание ионов в плазме крови (ммоль/л)			
	Бассейны (масса рыб 30,5±1,3 г)		Пруд (масса рыб 28,7±2,1 г)	
	Na	K	Na	K
Пресная вода	<u>167,7±3,9*</u>	<u>4,8±0,3</u>	<u>154,8±4,3</u>	<u>9,5±0,7</u>
	6,2	13,9	8,9	22,6
Морская вода, 24 ч	163,0	5,9	<u>178,9±5,2</u>	<u>7,3±0,6</u>
			10,1	28,9

Примечание. * над чертой $M \pm m$ (ммоль/л), под чертой CV (%).

Классический солевой тест (Clarke, Blackburn, 1978) предполагает, что смолтифицированной является рыба, у которой в течение 24 ч после переноса в соленую воду уровень Na снижается до 170 ммоль/л, по другим данным до 160 ммоль/л (Jobling, 1998). Молодь, у которой эти показатели выше, не способна поддерживать ионный гомеостаз. Такой молодь, например, является атлантический лосось из форелевых канав Князегубского завода (табл. 6).

Таким образом, серия солевых тестов выявила недостаточную подготовленность атлантического лосося к выпуску в естественные условия и скату и несбалансированность осморегуляторной системы рыб при выращивании с использованием существующей биотехники. Можно предположить, что молодь смолтифицируется по мере продвижения к морю. В этом случае, наиболее вероятно, что взрослые особи вернутся лишь в те места, где завершилась их смолтификация, т.е. в нижнее и среднее течение рек (Запорожец, Запорожец, 2000).

Между тем, известно множество исследовательских работ, посвященных изучению возможности влияния на процесс смолтификации, его инициализации и корректировке длительности. В основном, главными модифицирующими факторами являются длина светового дня и температура.

На рыбозаводах Мурманской области молодь атлантического лосося культивируется при естественной температуре воды. Применение подгрева в настоящее время невозможно по техническим причинам. Поэтому, по нашему мнению, целесообразно в качестве модифицирую-

щего фактора, подготавливающего семгу к выпуску, использовать фотопериод. В цехах Князегубского и Кандалакшского заводов возможно установление оборудования, позволяющего поддерживать определенный, заданный персоналом режим освещенности.

Разработка адаптированного к условиям Крайнего Севера метода применения фотопериода для синхронизации процессов смолтификации позволит выпускать в реки и пересаживать в морские садки полноценную молодь, что, несомненно, повысит выживаемость рыб.

Литература

- Анализ* процесса смолтификации у различных форм рода *Salmo* в связи с задачами лососевого хозяйства (Баранникова И. А., Баюнова Н. Н., Мурза И. Г., Семенкова Т. Б., Черницкий А. Г.) // В кн.: Биологические основы развития лососевого хозяйства в водоемах СССР. М.: Наука, 1983. С. 32-55.
- Запорожец О. М., Запорожец Г. В.* Смолтификация искусственно выращиваемой молоди кеты в двух различных районах Камчатки // Вопросы взаимодействия естественных и искусственных популяций лососей: Сборник науч. докл. рос.-амер. конф.-ии по сохранению лососевых. Хабаровск, 2000. С. 66.
- Казakov P. B., Веселов A. E.* Закономерности смолтификации атлантического лосося // В кн.: Атлантический лосось. СПб.: Наука, 1998. С. 195-241.
- Краюшкина Л. С.* Адаптация молоди лосося *Salmo salar* на различных стадиях смолтификации к гипертонической среде и состояние телец Станниуса

- са в этот период // Экология и систематика лососевидных рыб. Л.: Наука, 1976. С. 61-64.
- Пестрикова Л. И.* О результатах изучения смолтификации молоди семги // В кн.: Проблемы товарного выращивания лососевых рыб России. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1995. С. 55-57.
- Черницкий А. Г., Штерман Л. Я.* Особенности осморегуляции мигрирующей молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. // Вопросы ихтиологии. 1981. Т. 21, № 3. С. 498-503.
- Черницкий А. Г.* Адаптивное значение смолтификации атлантического лосося *Salmo salar* // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 1983. Т. 19, № 2. С. 186-190.
- Черницкий А. Г.* Смолтификация атлантического лосося *Salmo salar* и кумжи *Salmo trutta* // Успехи соврем.биол. 1994. Т. 114, № 5. С. 620-632.
- Штерман Л. Я.* Обратимость перестройки осморегуляции атлантического лосося // В кн.: Проблемы биологии и экологии атлантического лосося: Сб. науч. тр. Л., 1985. С. 65-70.
- Clarke W. C., Blackburn J.* Seawater challenge test performed on hatchery stocks of chinook and coho salmon in 1977 // Fish.Mar.Serv. (Can.), Tech.Rep. 1978. V. 761. P. 1-11.
- Fontaine M.* Physiological mechanism in the migration of marine and amphihaline fish // Advances in marine biology. London, New York: Acad.press, 1975. V. 13. P. 241-357.
- Gordon M. S.* Observation on smoltification in the Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.). Biol. Bull. 1959. V. 112. P. 28-32.
- Hoar W. S.* Smolt transformation: evolution, behaviour, and physiology // J. Fish. Res. Board Canad. 1976. V. 33, № 6. P. 1233-1252.
- Hoar W. S.* The physiology of smolting salmonids // Fish physiology. 1988. V. XIB. P. 275-343.
- Houston A. H.* Influence of size upon the adaptation of steel trout (*Salmo gairdneri*) and chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to sea water // J. Fish Res. Board Can. 1961. V. 18. P. 401-415.
- Folmar L. C., Dickhoff W. W.* The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids // Aquaculture. 1980. V. 21. P. 1-37.
- Jobling M.* Environmental biology of fishes. Chapman, Hall, 1998. 455 p.
- Natochin Yu., Lavrova E. A.* The influence of water salinity and stage in life history on ion concentration of fish blood serum // J. Fish. Biol. 1974. V. 6, № 5. P. 545-555.
- Parry G.* Osmotic adaptation in fishes // Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. 1966. V. 41. P. 392-444.
- Virtanen T.* Smolting and osmoregulation of Baltic salmon, *Salmo salar* L., in fresh and brackish water // Finn.Fish.Res. 1987. V. 7. P. 38-65.