

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АКВАКУЛЬТУРА

УДК 639.3.03

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОСОЛЬСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ *COREGONUS MIGRATORIUS*

С. М. Семенченко

ФГБНУ «Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства»,
625023, Россия, г. Тюмень
ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»,
625003, Россия, г. Тюмень

*Большереченский рыбоводный завод воспроизводит байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) в течение 85 лет. Всего в оз. Байкал выпущено 35,8 млрд личинок омуля. Имеющиеся данные позволяют проанализировать эффективность работы завода. В течение первых сорока лет ежегодные объемы выпуска личинок последовательно нарастали. С начала 1970-х гг. до 2007 г. количество выпущенных личинок находилось на уровне от 0,43 до 0,93 млрд экз., в среднем 0,67 млрд экз. Затем объемы выпуска начали падать до 49,5 млн экз. в 2016 г. в связи с дефицитом производителей. Численность нерестового стада воспроизводимой популяции первые 40 лет работы завода в целом возрастала с 30–50 тыс. экз. до 962 тыс. экз. С 1972 г. по 1990 г. уловы нерестового омуля последовательно падали до 69 тыс. экз., что объясняется реакцией популяции на зарегулирование стока Байкала. Затем до 2004 г. ежегодный заход омуля вновь увеличивался до 0,5 млн экз., что связано с адаптацией омуля к новым экологическим условиям. В настоящий период численность воспроизводимой заводом популяции находится в депрессивном состоянии. Количество ежегодно отлавливаемых рыб колеблется на уровне 9,3–20,5 тыс. экз. Доля возвращающихся на нерест производителей от количества выпущенных личинок в генерации за годы работы завода варьировала от 0,001 % в современный период до 0,601 % в 1946 г. и в среднем составила 0,125 %. Между количеством ежегодно выпускаемых личинок и коэффициентом возврата производителей выявлена обратная зависимость, что объясняется трофическими ограничениями Посольского сора, выполняющего роль выростного водоема. Увеличение объема выпуска личинок свыше 400 млн экз. в год отрицательно влияло на количество возвращающихся на нерест производителей. Анализ результатов работы завода демонстрирует принципиальную возможность достижения высокой численности воспроизводимой популяции за счет массового выпуска личинок омуля без их выращивания. Низкая эффективность заводского воспроизводства омуля в настоящее время связана с комплексным негативным влиянием как экологических, так и социально-экономических факторов.*

Ключевые слова: байкальский омуль; искусственное воспроизводство; рыбоводный завод; популяция; численность; эффективность воспроизводства; личинка; нерестовое стадо; производители; вылов; возврат; генерация

Введение

По своим масштабам восьмидесяти пятилетняя деятельность Большереченского рыбоводного завода, воспроизводящего по-

сольскую популяцию байкальского омуля, не имеет аналогов в отечественной и мировой практике сиговодства. В общей сложности за годы работы было собрано около 56 млрд икринок, суммарный выпуск рыбоводной продукции составил 39,3 млрд личинок

© С. М. Семенченко

омуля, в том числе в бассейн Байкала выпущено 35,8 млрд личинок. Для сравнения можно отметить, что близкое количество личинок сиговых (38 млрд) было выпущено в Великие озера Северной Америки за 90 лет с четырех десятков рыбоводных предприятий США и Канады [1]. Оценка эффективности заводского воспроизводства рыб — сложный, теоретически неразработанный вопрос. Нерестовое стадо посольского омуля, относящегося к придонно-глубоководной эколого-морфологической группе [2], тотально вылавливается для рыбоводных целей. Размножение данной популяции обеспечивается почти исключительно за счет выпуска личинок с Большереченского завода. Поэтому анализ его работы дает уникальную возможность оценки влияния длительного искусственного воспроизводства на состояние популяции сиговых рыб, нагул которых происходит в естественном водоеме. Подведение итогов работы старейшего из рыбоводных заводов Сибири особенно актуально в современный период глубокой депрессии запасов омуля, являющегося основной промысловой рыбой Байкала. Оценка эффективности заводского воспроизводства омуля, основанного на массовом выпуске личинок, — важное условие для выработки обоснованной стратегии ведения рыбного хозяйства на Байкале.

Цель данной работы ограничена ретроспективным анализом количественных и качественных показателей воспроизводства байкальского омуля на Большереченском рыбоводном заводе, отражающих технологическую и биологическую эффективность его работы.

Материал и методы исследования

Материалом для аналитической работы являлись статистические данные о работе Большереченского рыбоводного завода с момента его основания, а также данные по основным рыбоводно-биологическим показателям посольского омуля из фондов Байкальского филиала ФГБНУ «Госрыбцентр» (ранее ФГУП «Востсибрыбцентр» и «ВостсибрыбНИИ-проект»). В частности, анализировали многолетнюю динамику количества отлавливаемых

производителей, количество собранной икры и выпускаемых личинок, а также традиционные в рыбоводстве относительные показатели: оплодотворяемость икры, общий отход икры за период инкубации и отход за период инкубации от живой оплодотворенной икры. Для оценки эффективности основных звеньев биотехнического цикла при искусственном воспроизводстве использовали предложенные ранее относительные показатели [3; 4]:

— коэффициент эффективности сбора икры — отношение среднего количества икры, собранной от одной отловленной в рыбоводных целях самки (K_1), к средней абсолютной индивидуальной плодовитости ($K_1/\text{АИП}$).

— коэффициент эффективности использования производителей — отношение среднего количества живой оплодотворенной икры, собранной от одной отловленной в рыбоводных целях самки (K_2), к средней абсолютной индивидуальной плодовитости ($K_2/\text{АИП}$).

— коэффициент эффективности заводского воспроизводства — отношение количества личинок, приходящихся на одну отловленную самку (K_3), к абсолютной индивидуальной плодовитости ($K_3/\text{АИП}$). Данный коэффициент интегрально отражает качественную оценку эффективности всех этапов технологического процесса на рыбоводном заводе.

В целом о биологической эффективности искусственного воспроизводства популяции можно судить по величине промыслового возврата объекта заводского разведения. Однако оценка этого коэффициента связана с рядом методических сложностей как при расчете пополнения популяции, так и при получении надежных данных о фактическом вылове рыб промысловых размеров. Как уже указывалось, посольская популяция байкальского омуля более 80 лет воспроизводится благодаря деятельности Большереченского рыбоводного завода. Наличие достоверных данных по количеству ежегодно выпускаемых с завода личинок и численности нерестовых стад, тотально облавливаемых в речках Посольского сора,

дает уникальную возможность проследить многолетнюю динамику относительной величины возврата производителей. С этой целью для каждой генерации выпускаемых с завода личинок рассчитывали коэффициент возврата производителей, который равен отношению суммарной численности отловленных производителей определенного года рождения до завершения жизненного цикла генерации к количеству выпущенных в этом году личинок с учетом размерности:

$$\text{КВП} = \frac{\sum N_i}{10n},$$

где КВП — коэффициент возврата производителей, %;

$\sum N_i$ — общее количество производителей генерации определенного года, отловленное для рыболовных целей за все годы ее участия в нерестовой миграции, тыс. экз.;

n — количество выпущенных личинок в год рождения генерации, млн экз.

Значение этого показателя меньше коэффициента промыслового возврата на относительную величину изъятия омуля официальным промыслом и нелегальным выловом. Спецификой посольской популяции омуля является низкая интенсивность эксплуатации промыслового стада в Байкале. Облавливаются в основном преднерестовые скопления. Браконьерский вылов в речках существенной роли не играет, так как ставные невода рыболовного завода размещены в их устьевой зоне. Следовательно, значения сравниваемых коэффициентов должны быть близкими и взаимосвязанными. Исключение составляют постсоветские годы, когда, по экспертным оценкам, браконьерский вылов стал существенной (возможно, основной) формой изъятия промысловых запасов омуля. Данные по многолетней динамике среднего возраста нерестового омуля в сочетании с ежегодным выловом производителей в речках позволяют ориентировочно рассчитать численность генерации каждого года в нерестовом стаде. В своей массе нерестовое стадо посольского

омуля представлено впервые нерестующими особями, относящимися к пяти возрастным классам. Последующий расчет основан на двух допущениях:

— каждая генерация последовательно представлена в нерестовом стаде в течение пяти лет в следующем соотношении 10, 25, 30, 25 и 10 %;

— год захода в реку наиболее массового размерного класса (30 % от численности) превышает год выпуска личинок с завода на величину среднего возраста стада в текущий период.

По имеющимся ихтиологическим данным, с 1930-х гг. средний возраст рыб в нерестовом стаде посольского омуля изменялся от 9 до 13 лет.

Известное значение коэффициента возврата производителей не позволяет судить о динамике численности нерестового стада. Не ясно, обеспечивает ли соответствующий полученному значению коэффициента уровень воспроизводства увеличение или уменьшение количества производителей в последующей генерации. В качестве критерия для сравнительной оценки предлагается использовать коэффициент стабилизирующего возврата. Под термином «стабилизирующий возврат» понимается расчетный заход в нерестовые реки такого количества производителей одной генерации, при котором численность следующей генерации останется неизменной. Такое состояние стада будет достигнуто в том случае, если зашедшая на нерест среднестатистическая самка будет количественно обеспечивать размножение одной самки с числом самцов, соответствующим текущему соотношению полов в нерестовом стаде. Так, например, при соотношении полов 1 : 2, одна размножающаяся самка должна обеспечить возврат трех производителей. Величина коэффициента стабилизирующего возврата от фонда икры отловленных самок будет зависеть от доли самцов в стаде и от средней абсолютной индивидуальной плодовитости. Аналогичный коэффициент, рассчитанный от количества выпущенных личинок, можно определить по формуле:

$$KCB = \frac{1+m}{10K_3},$$

где КСВ — коэффициент стабилизирующего возврата, %;

m — количество самцов, приходящееся в среднем на одну самку в нерестовом стаде, экз.;

K_3 — количество выпущенных личинок, приходящихся на одну отловленную для рыбоводных целей самку, тыс. экз.

В том случае, если значение коэффициента стабилизирующего возврата меньше величины коэффициента возврата производителей, то популяция находится в состоянии расширенного воспроизводства — последующая генерация будет по численности больше, чем в текущем сезоне. Преобладание коэффициента стабилизирующего возврата свидетельствует об уменьшении численности нерестового стада. Величина соотношения коэффициентов возврата производителей и стабилизирующего возврата отражает моментальную скорость динамики численности нерестового стада с размерностью кратность изменения (раз) за жизненный цикл при моноциклическом размножении популяции.

Входящий в уравнение показатель K_3 зависит от абсолютной индивидуальной плодовитости и комплексно учитывает все потери

технологического характера от отхода производителей при выдерживании до отхода икры за период инкубации. Таким образом, динамика значений коэффициента стабилизирующего возврата от выпущенных личинок при заводском воспроизводстве определяется текущими изменениями плодовитости самок, соотношения полов в стаде и эффективности рыбоводного процесса.

Результаты и обсуждение

Основная часть производителей, заходящих в реки Посольского сора оз. Байкал, отлавливалась в рыбоводных целях. Поэтому, с определенными допущениями, численность отлавливаемых производителей можно рассматривать как результат деятельности завода. В многолетнем масштабе динамика численности нерестового стада посольского омуля подвержена значительным колебаниям (рис. 1). Первые двадцать лет работы завода характеризуются ступенчатым ростом численности рыб, заходящих в реки Посольского сора. В период с 1934 по 1946 г. количество производителей омуля не превышало 100 тыс. экз. Этот уровень можно считать «фоновым» для популяции до организации ее искусственного воспроизводства. В течение 1947–1950 гг. ежегодно отлавливалось от 100 до 200 тыс. нерестовых рыб. В 1951–1962 гг. средний вылов за сезон составлял 350 тыс. экз. На этом

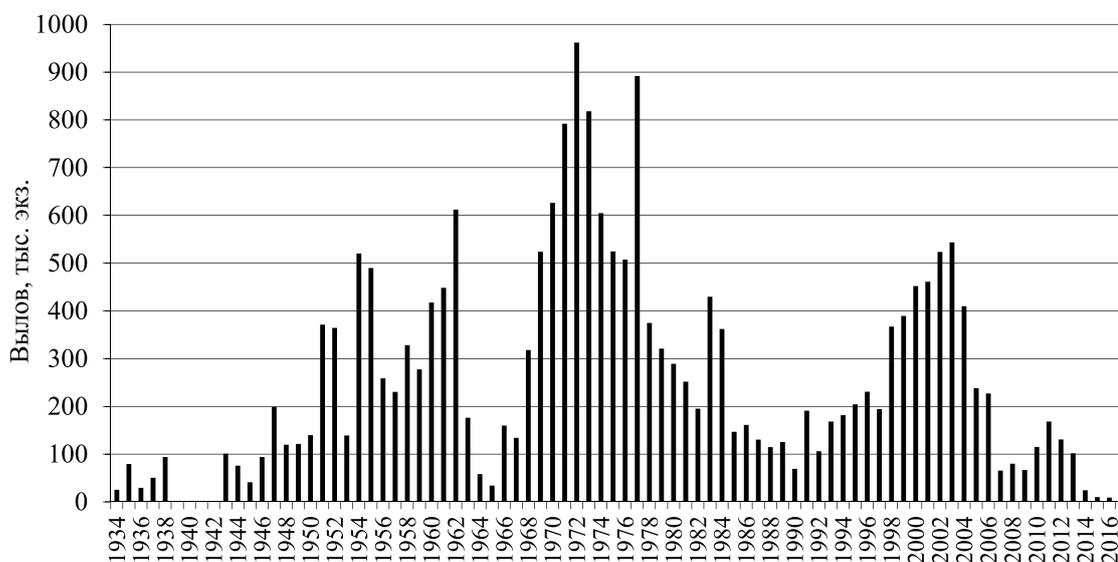


Рисунок 1 — Вылов производителей посольского омуля в рыбоводных целях

этапе заводу удалось обеспечить расширенное воспроизводство популяции за счет выпуска неподращенных личинок, несмотря на относительно невысокую эффективность технологического процесса.

Динамика численности нерестового стада посольского омуля с середины 60-х до начала 2000-х гг. может быть объяснена известным «эффектом водохранилища» [5; 6]. В условиях относительно стабильного пополнения генерации начала 60-х гг., формирующиеся в период подъема уровня Байкала в результате постройки Иркутской ГЭС, обеспечили мощные заходы производителей в 70-е гг. Рекордный улов достигнут в 1972 г. — 962 тыс. экз. Период наиболее массовых заходов продлился до 1977 г., когда было отловлено 892 тыс. производителей. Первые сорок лет деятельности завода обеспечили увеличение численности объекта воспроизводства на порядок по сравнению с «фоновым» уровнем. Последующее длительное снижение численности посольского омуля до конца 80-х гг., вероятно, связано с перестройкой экосистемы оз. Байкал в условиях зарегулированного стока р. Ангары. На протяжении 90-х гг. и в начале 2000-х гг. происходит постепенное восстановление численности. В 2002–2003 гг. заготовлено 524–543 тыс. экз., что заметно превышает среднемноголетнюю величину

(около 260 тыс. экз.). Устойчивый рост нерестового стада с 1990 по 2004 г., вероятно, свидетельствует об адаптации популяции посольского омуля к новой экологической ситуации. Однако с 2005 г. и по настоящий момент наблюдается прогрессирующая депрессия популяции. Начиная с 2014 г. численность отлавливаемых рыб впервые за все годы работы завода упала ниже начального «фоновому» уровня и колеблется в пределах 9,3–20,5 тыс. экз. Таким образом, по сравнению с максимальным значением произошло стократное сокращение уловов. Результат работы нескольких поколений рыбоводов оказался сведенным к нулю.

Всего за годы работы завода на рыбоводных пунктах было выловлено около 22 млн производителей омуля суммарной массой 11,4 тыс. т.

Количество собираемой на Большереченском заводе икры омуля неоднозначно связано с числом отловленных производителей ($r = 0,629$). Снижение объемов вылова сопровождалось увеличением эффективности использования производителей. Поэтому амплитуда колебаний ежегодных объемов сбора икры менее выражена по сравнению с динамикой численности отлавливаемых рыб (рис. 2). В течение пятидесяти лет с момента основания завода происходил доволь-

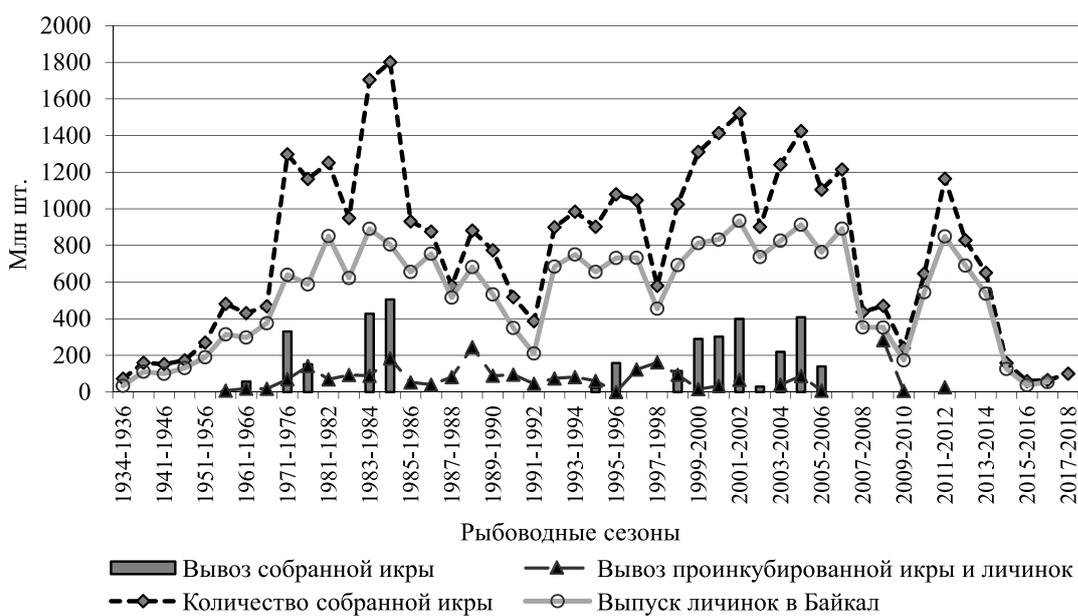


Рисунок 2 — Объемы ежегодного сбора икры и выпуска личинок омуля Большереченским рыбоводным заводом

но устойчивый рост объемов сбора икры с 37 млн шт. в 1934 г. до 1,8 млрд шт. в 1984 г. Это связано как с тенденцией к возрастанию численности нерестового стада, так и с совершенствованием технологии сбора икры. В середине 80-х — в начале 90-х гг. произошло резкое падение объемов сбора, связанное с дефицитом производителей. В этот период минимальное количество икры было собрано в 1991 г. — 387 млн шт., что вызвано аварийной ситуацией в садковой базе при выдерживании производителей и при смыве икры. Начиная с 1992 г. вновь стала проследиваться тенденция к увеличению объемов сбора. В 2001 г. удалось выйти на уровень сбора 1,52 млрд шт. С 2002 по 2006 г. сборы икры были высокими и стабильными — 0,90–1,22 млрд шт. Последующие десять лет после акционирования завода характеризуются отрицательным трендом по сборам икры. В течение этого периода максимальное количество икры (1,16 млрд шт.) было собрано в 2011 г. Наихудший результат за всю историю работы завода был получен в 2015 г. — 60 млн икринок. Средний показатель за последние десять лет — 439 млн икринок.

Кривая выпуска личинок посольского омуля в Байкал более сглажена по сравнению с кривой сбора икры (см. рис. 2). В многолетней динамике выпуска личинок можно выделить три периода. В течение первых сорока лет ежегодные объемы выпуска в целом последовательно нарастали. В 1971 г. выпуск впервые превысил 0,5 млрд личинок (540 млн экз.). С начала 70-х до 2007 г. количество выпускаемых личинок находилось на относительно стабильном уровне. За этот период выпуск колебался от 0,43 до 0,93 млрд шт. и в среднем равнялся 0,67 млрд шт. Исключение составляют 1991 и 1992 гг., когда было выпущено всего 350 и 211 млн личинок соответственно. В годы со значительными объемами сбора икры уровень зарыбления целенаправленно стабилизировался за счет вывоза рыбопосадочного материала за пределы бассейна оз. Байкал, что обосновывалось ограниченностью кормовой базы главного выростного водоема данной популяции омуля — Посольского сора [7]. Начавшиеся

в 70-х гг. масштабные работы по акклиматизации омуля в ряде крупных водоемов страны фактически полностью обеспечивались поставками с Большереченского завода. В общей сложности за пределы бассейна было вывезено 3,7 млрд собранной икры, а также 2,9 млрд проинкубированной икры и личинок. Наиболее крупные партии рыбопосадочного материала были вывезены на водохранилища Ангарского каскада, на Вилуйское, Зейское, Красноярское водохранилища, в оз. Гусиное (Бурятия), оз. Хубсугул (МНР), Арахлейские озера (Читинская обл.), оз. Сайрам-Нур (КНР). На другие заводы Байкала было вывезено 2,0 млрд икринок посольского омуля.

Таким образом, благодаря деятельности Большереченского завода удалось обеспечить стабильно высокое пополнение посольской популяции личинками омуля на протяжении сорока лет в период наиболее интенсивного антропогенного воздействия на экосистему оз. Байкал. Как результат, посольский омуль был самой массовой искусственно воспроизводимой популяцией сиговых рыб в стране.

Однако с 2007 г. ежегодные объемы выпуска личинок начали падать. В 2010 г. произошел «провал» количества выпускаемых личинок до 186 млн экз., сменившийся кратковременным подъемом этого показателя до 850 млн экз. в 2012 г. Последние пять лет характеризуются катастрофическим падением объемов выпуска. В 2016 г. выпущено всего 49,5 млн экз., что соответствует уровню первых лет работы Большереченского завода.

Итоговые значения количественных показателей работы Большереченского рыбоводного завода представлены в табл. 1.

Оплодотворяемость икры в период сбора определялась на Большереченском рыбоводном заводе с начала 80-х гг. В динамике этого показателя четко прослеживаются два периода. До 1988 г. в среднем при закладке на инкубацию живая оплодотворенная икра составляла около 80 %. После внедрения и отработки экологического метода сбора икры [8] ее доля повысилась в среднем до 89 % с ежегодными колебаниями на 2–3 % (рис. 3). В этот период наиболее низкое качество загруженной на инкубацию икры (оплодотворяемость — 82 %)

Таблица 1 — Результаты работы Большереченского рыбоводного завода

Показатели	Итого за период		Всего
	1934–1979	1980–2017	
Период, годы	1934–1979	1980–2017	1934–2017
Отловлено производителей, тыс. экз.	13817	7947	21764
В том числе самок	3931	3520	7451
Количество собранной икры, млн шт.	22737	33248	55985
Завезено икры с других заводов, водоемов, млн шт.	59	1227	1286
Вывоз собранной икры, млн шт.	2626	3118	5744
Рассеяно на нерестилищах р. Большой	691	100	791
Всего заложено на инкубацию икры, млн шт.	19480	31258	50738
Всего проинкубировано икры, млн шт.	14426	24875	39301
Вывоз проинкубированной икры и личинок, млн шт.	1271	2287	3558
В том числе за пределы бассейна	1271	1676	2947
Завоз проинкубированной икры с других заводов, млн шт.	0	375	375
Выпуск личинок в бассейне Байкала, млн шт.	13154	22669	35823

было в 1991 г., что объясняется аварийной ситуацией в садковой базе завода, используемой для сбора икры экологическим методом. С 2001 г. до текущего рыболовного сезона оплодотворяемость собранной икры отличается стабильностью и находится на уровне 90–92 % вне зависимости от объема сбора.

По мере совершенствования биотехники общий отход за инкубацию (отход от собранной икры до выклева личинок) устойчиво снижался от 54 % в первые годы работы до 24 % в среднем в 70-х гг. (см. рис. 3). На этом уровне величина отхода находилась до завершения внедрения в 1988 г. новой технологии

сбора икры. Затем произошло снижение этого показателя в среднем до 17 % (без учета аномального сезона 1991–1992 гг.).

Инкубация икры — наиболее отлаженный технологический процесс на Большереченском заводе. Благодаря высокой квалификации рыбоводов и благоприятному химическому режиму источника водоснабжения отход от живой оплодотворенной икры за период инкубации обычно не превышает 10 % и в среднем за период с 1980 г. составил 6,6 % (см. рис. 3). За последнее десятилетие значение этого технологического показателя в среднем несколько увеличилось — до 8,5 %.

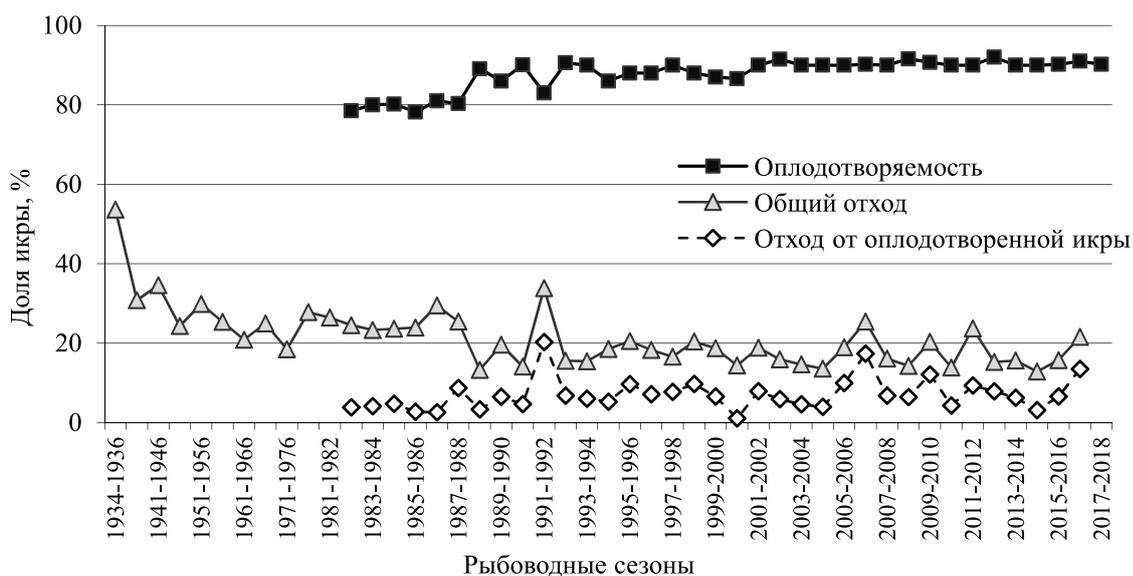


Рисунок 3 — Оплодотворяемость икры и ее отход за период инкубации на Большереченском рыболовном заводе

Динамика относительных качественных показателей эффективности работы Большереченского рыбоводного завода имеет сложный характер. Минимальные значения соответствующих коэффициентов отмечались в первые годы работы завода.

До конца 70-х гг. происходил постепенный рост эффективности технологии воспроизводства. За этот период эффективность сбора икры выросла с 15 до 39 %, эффективность заводского воспроизводства — с 7 до 28 % (рис. 4).

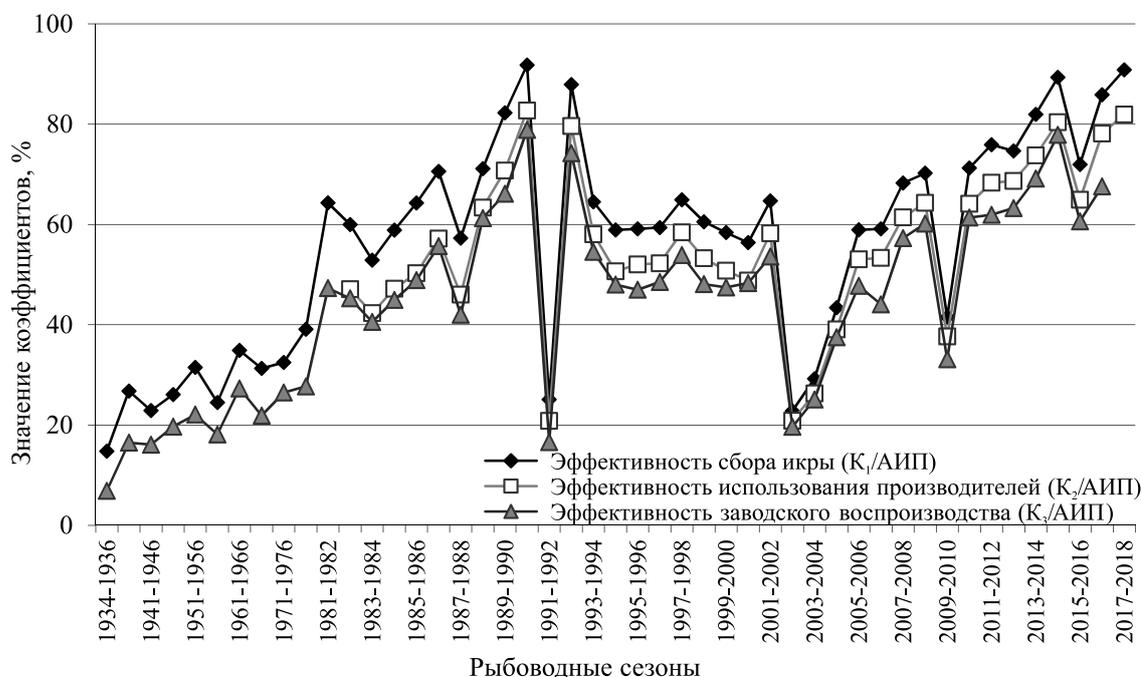


Рисунок 4 — Многолетняя динамика относительных показателей эффективности эксплуатации посольского нерестового стада омуля в целях искусственного воспроизводства

Отлов и выдерживание производителей в эти годы осуществляли непосредственно на основных рыболовных пунктах завода «Култушная» и «Бельская грива» (с 1966 г.), расположенных в низовьях речек, впадающих в Посольский сор. Важно отметить, что даже при таких невысоких значениях этих коэффициентов завод обеспечивал на протяжении 30 лет расширенное воспроизводство посольской популяции омуля. Второй период связан с началом эксплуатации садковой базы непосредственно на территории завода. В конце 70-х — начале 80-х гг. был организован пропуск нерестового омуля по р. Большой и его самозаход в садковую базу, что привело к резкому повышению качественных показателей работы завода ($K_1/АИП = 64$ %; $K_3/АИП = 47$ %). В связи с массовым браконьерством в реке с 1983 г. вводилось ограничение пропуска производителей вплоть до его полно-

го прекращения. Возврат к практике вылова производителей в устье рек и организация их перевозки с рыболовных пунктов в садковую базу завода оказали отрицательное влияние на величину анализируемых коэффициентов, которое было смягчено началом внедрения с 1984 г. экологического способа сбора икры. Следующий подъем качественных показателей произошел в связи с полным переходом завода на новую технологию сбора в 1988 г. Сезоны 1990–91 и 1992–93 гг. характеризуются максимальной для данного завода эффективностью рыболовных работ: $K_1/АИП = 88–92$ %; $K_2/АИП = 80–83$ %; $K_3/АИП = 74–79$ %. На эти показатели следует ориентироваться как на потенциально достижимые при аналогичной технологической схеме эксплуатации посольского нерестового стада омуля. Необходимо подчеркнуть, что годы с максимальными значениями качествен-

ных показателей работы Большереченского завода совпали с минимальным за пятидесятилетний период выловом производителей (см. рис. 1). Причины резкого падения результативности работ в 1991–92 гг. указывались выше. В период с 1993 по 2002 г. на заводе не происходили принципиальные изменения технологического характера. Однако по сравнению с предыдущими годами значения коэффициентов эффективности работы стабилизировались на гораздо более низком уровне и в среднем составили: коэффициент эффективности сбора икры — 63 %, использования производителей — 56 %; заводского воспроизводства — 52 %. Для сравнения: на Селенгинском рыболовном заводе в среднем в этот период значение каждого из этих коэффициентов было выше на 23–24 %.

Обнаружено, что между количеством отловленных за рыболовный сезон самок и анализируемыми коэффициентами существует статистически достоверная обратная связь ($r = -0,603 \dots -0,624$). Заход нерестовых косяков общей численностью свыше 60 тыс. шт., как правило, сопровождается снижением эффективности рыболовных работ. Основная причина потерь — повышенный отход производителей. Исследования 1999 г. показали, что на Большереченском рыболовном заводе в течение сезона сбора икры максимальный отход отмечается у рыб, отловленных в период наибольшей интенсивности нерестового хода. Минимальная гибель наблюдается у рыб, пойманных в начале хода при наиболее теплой за сезон воде и максимальной продолжительности выдерживания. На других заводах Байкала связь величины отхода с этими двумя показателями прямо противоположная. Следовательно, смертность рыб при выдерживании зависит как от общего количества заготовленных за сезон производителей, так и от динамики их отлова и отсадки в течение сезона. Кроме того, при значительных объемах вылова производителей их выдерживание в садковой базе происходит в условиях повышенной плотности, что также отрицательно влияет на величину отхода. Коэффициенты эффективности сбора икры и заводского воспроизводства довольно тесно

связаны со средней плотностью посадки производителей при выдерживании в садковой базе ($r = -0,905$ и $-0,909$ соответственно).

На значение качественных показателей работы завода влияют периодически отмечаемые потери икры при ее смыве из-за неудовлетворительного технического состояния садковой базы. Так, например, в период сбора икры в 2002 г. в условиях аномально раннего ледообразования не удалось обеспечить нормальное водоснабжение базы. Это не позволило в полной мере использовать заготовленных производителей. В результате этого относительные показатели эффективности работы вновь упали до уровня аварийного 1991 г. (см. рис. 4). По аналогичным причинам произошло снижение качественных показателей в 2009 г. Малочисленные заходы нерестового омуля последующих лет до 2017 г. сопровождалась ростом эффективности технологического процесса до уровня 1990–1992 гг., когда значения соответствующих коэффициентов были максимальными ($K_1/\text{АИП}$ — 91 %; $K_2/\text{АИП}$ — 82 %; $K_3/\text{АИП}$ — 68 %).

Можно сделать вывод, что в годы массовых заходов омуля относительно низкая эффективность рыболовных работ на Большереченском рыболовном заводе связана главным образом с повышенным отходом производителей из-за несоответствия существующей технической базы предприятия численности используемого нерестового стада. Очевидно, в случае восстановления популяции, требуется проведение реконструкции завода.

За годы работы Большереченского рыболовного завода расчетная величина коэффициента возврата производителей от личинок в нерестовые речки изменялась в широких пределах от 0,001 до 0,601 % (рис. 5). Размах колебаний коэффициента стабилизирующего возврата закономерно меньше — от 0,012 до 0,156 %. Оба показателя во времени имеют нисходящий тренд — коэффициент линейной корреляции равен $-0,606$ и $-0,669$ соответственно. Тенденция к снижению коэффициента возврата производителей отчасти связана с увеличением численности нерестового стада за годы работы завода. Главная причина снижения значений стабилизирующего воз-

врата — повышение эффективности рыбоводного процесса.

Динамика величины возврата производителей (фактическая) имеет вид кривой затухающего колебательного процесса с тремя резко выраженными пиками. Количество лет с преобладанием фактического возврата над стабилизирующим уровнем составляет 60 %, что в целом означает доминирование расширенного воспроизводства популяции посольского омуля. Благодаря именно этому обстоятельству начальный уровень численности

нерестовых стад посольского омуля 30-х гг. был многократно превышен вплоть до последнего пятилетия. Для упрощения анализа динамика изучаемого процесса рассмотрена по периодам, выделенным по принципу доминирующей направленности изменений коэффициента возврата производителей. Продолжительность выделенных периодов (фаз) оказалась равной десяти годам с отдельными отклонениями до трех лет, что приблизительно соответствует длительности жизненного цикла посольского омуля.

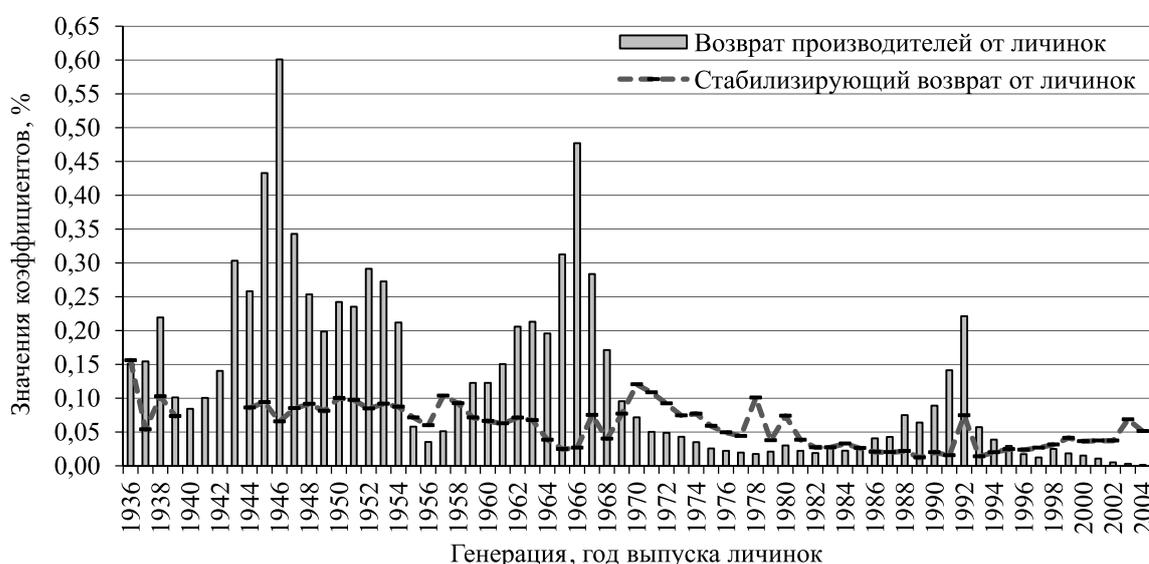


Рисунок 5 — Многолетняя динамика величин возврата производителей посольского омуля от количества личинок, выпущенных Большеречинским заводом

В течение начального периода заводского воспроизводства (генерации 1936–1940 гг.) в нерестовые речки Посольского сора возвращалось 0,08–0,22 % рыб от выпущенного количества личинок (см. рис. 5). Для первых лет работы рыбоводного завода характерно относительно высокое значение коэффициента стабилизирующего возврата — в среднем около 0,10 %, что связано с несовершенством используемой рыбоводной технологии в годы становления предприятия. Однако уже с третьего сезона завод обеспечивал расширенное воспроизводство популяции. В годы войны эффективность выпусков личинок резко возросла и достигла абсолютного максимума в 1946 г. — 0,60 %. Относительно высокая выживаемость генераций военных лет объясня-

ется максимальной интенсивностью промысла в этот период при фактической отмене каких-либо ограничений. Снижение ихтиомассы рыб из-за активного вылова, прежде всего в прибрежно-соровой системе, сократило потребление молоди омуля частиковыми рыбами и высвободило для него кормовые ресурсы.

Для следующего десятилетия (1946–1956 гг.) характерно снижение значения коэффициента возврата производителей до уровня 0,035 % (1956 г.) на фоне возрастающих объемов выпуска личинок и численности нерестового стада. Резкое падение коэффициента возврата 1954–1956 гг. пришлось на экстремально низкий уровень Байкала (до 108 см от условного нуля, рис. 6), что, вероятно, связано с началом гидростроительства на Ангаре.

Соответственно, генерации омуля этих лет формировались при минимальном залитии Посольского сора. Очевидно, в результате этого экологического фактора в сезоны 1955–1957 гг. произошло первое с начала работы завода падение значений коэффициента возврата производителей ниже стабилизирующего уровня (см. рис. 5).

В течение следующих десяти лет происходило устойчивое увеличение значения

анализируемого коэффициента до 0,48 % в 1966 г., что в 14 раз превышает значение 1956 г. К концу этого периода коэффициент возврата производителей превысил уровень стабилизирующего возврата в 18 раз. Главной экологической особенностью данного периода является устойчивое повышение уровня Байкала в связи с постройкой плотины Иркутской ГЭС (см. рис. 6) до отметки 249 см от условного нуля.

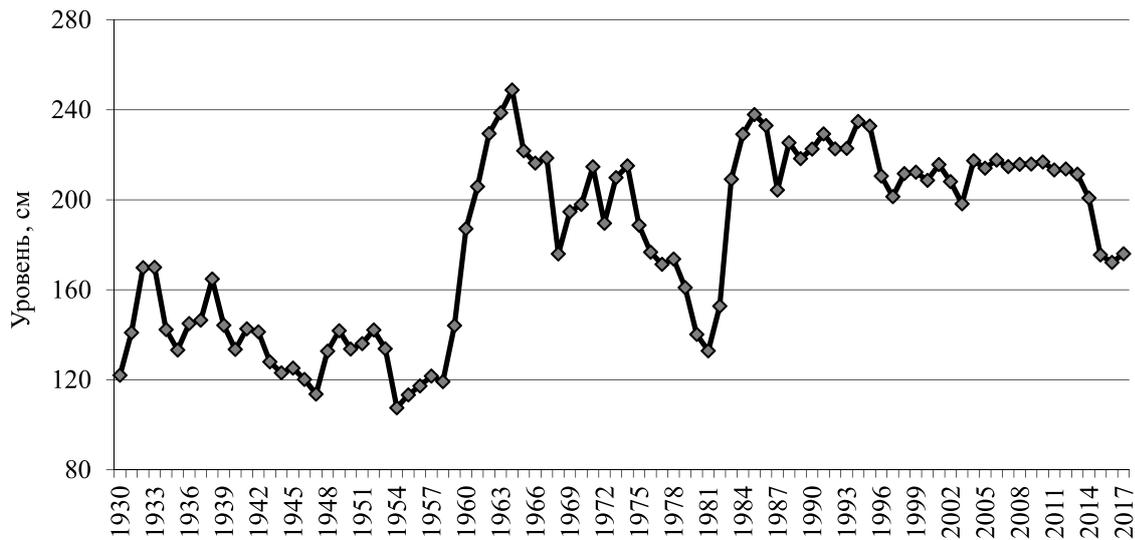


Рисунок 6 — Динамика среднегодового уровня оз. Байкал (нуль графика — 453,27 м Балтийской системы)

Экстремально высокие величины коэффициента возврата производителей генераций 1965–1967 гг. по времени совпали с крайне низкой численностью заходящих в реки Посольского сора производителей омуля низкоурожайных 1954–1957 гг. рождения (см. рис. 1). Кроме того, негативное влияние на численность нерестовых стад в середине 1960-х гг. оказало изменение правил рыболовства, приведшее к перераспределению основной промысловой нагрузки на половозрелую часть популяции. Резкое сокращение нерестового стада обусловило снижение количества выпускаемых личинок, что, в свою очередь, улучшило обеспеченность пищей молоди в Посольском соре, площадь которого увеличивалась в связи с подъемом уровня в Байкале (см. рис. 6).

Генерации 1962–1964 гг., появившиеся на завершающем этапе подъема уровня в Байкале после зарегулирования его стока, при объеме

выпуска 374–393 млн личинок обеспечили максимальные уловы нерестового омуля в 1971–1973 гг. — 792–962 тыс. экз. при коэффициенте возврата производителей 0,2 %.

С 1967 по 1975 г. величина возврата производителей последовательно снижалась до минимальных значений с начала работы завода — 0,02–0,03 % с последующей стабилизацией на этом уровне до 1985 г. Эти два периода характеризуются стабильно массовыми выпусками личинок в среднем по 670 млн экз. в год, нисходящими трендами среднегодовых уровней воды в Байкале (до 1981 г.) и количества отлавливаемых производителей. С 1970 по 1984 г. фактический коэффициент возврата производителей был в среднем в два раза ниже стабилизирующего уровня — 0,032 и 0,064 % соответственно. Как результат, численность производителей в нерестовом стаде сократилась к 1990 г. до

69 тыс. экз., т. е. упала более чем в десять раз по сравнению с началом 1970-х гг. Интересно отметить, что запрет на промышленный лов омуля, введенный с 1969 по 1982 г., не оказал положительного влияния на величину коэффициента возврата производителей.

С 1986 до 1992 г. доля возвращающихся в реку производителей вновь стабильно увеличивалась, достигнув к концу этого периода значения 0,22 %. Необходимо отметить, что резкое снижение объема выпуска до 211 млн личинок в связи с аварийной ситуацией в период сбора икры осенью предыдущего года привело к всплеску значения коэффициента возврата производителей. Среднегодовой уровень Байкала в этот период был стабильным и относительно высоким (в среднем 220 см от условного нуля) (см. рис. 6), объемы выпуска личинок имели нисходящий тренд (см. рис. 2). Коэффициент стабилизирующего возврата производителей находился в эти годы на минимальном уровне — в среднем 0,012 %, что обусловлено внедрением экологического метода сбора икры, существенно повысившего эффективность использования производителей в рыбоводных целях. Пятнадцатикратное превышение фактических величин коэффициента возврата производителей над стабилизирующим уровнем возврата в поколениях 1989–1992 гг. обеспечило резкое увеличение нерестового стада после их массового полового созревания в 2000–2004 гг., когда в среднем отлавливалось 0,5 млн производителей. В целом конец 1980-х — начало 1990-х гг. может считаться периодом завершения длительной депрессии популяции омуля, вызванной перестройкой экосистемы Байкала в связи с регулированием его стока.

Для постсоветского периода характерна отрицательная динамика коэффициента возврата производителей (см. рис. 5). К сезону 2017 г. в основном завершился жизненный цикл генерации 2004 г. выпуска. Она была представлена в уловах производителями в соотношении всего 0,001 % от количества выпущенных личинок, что является минимальным значением за весь период работы завода, что примерно в 50 раз меньше средней величины за последние 40 лет. В целом в течение данно-

го периода происходило увеличение количества выпускаемых личинок до исторического максимума — 928 млн экз. (2002 г.) и вылова производителей до 543 тыс. экз. Уровень Байкала был относительно высоким — в среднем 215 см от условного нуля. Коэффициент стабилизирующего возврата возрос по сравнению с предыдущим периодом до 0,034 %, что объясняется снижением эффективности использования производителей из-за их повышенного отхода в технологическом процессе при массовых уловах. Тридцатикратное снижение фактических значений коэффициента возврата производителей по сравнению с величиной стабилизирующего возврата привело к катастрофическому падению численности нерестового стада в 2015–2017 гг. Масштабы этого падения не могут быть объяснены экологическими причинами. Очевидно, на первый план выходят социальные и организационно-правовые факторы, в частности резко возросшее браконьерство. Косвенным подтверждением данного утверждения является схожая картина в динамике запасов и нерестовых стад большинства наиболее ценных видов рыб во внутренних водоемах России, например муксуна в Оби или осетровых рыб в Волжско-Каспийском бассейне [9; 10].

Средние значения анализируемых показателей по периодам приведены в табл. 2.

Примечательно, что средние значения коэффициентов возврата производителей как за период до завершения подъема уровня Байкала (1964 г.), так и после этого момента превышали уровень стабилизирующего возврата в 2,5 и 1,6 раза соответственно. За все годы работы завода это соотношение между коэффициентами равно двум. Таким образом, несмотря на сложную динамику изучаемых процессов, можно говорить о преобладании расширенного воспроизводства омуля за годы работы Большереченского рыбоводного завода. За полвека (до 2004 г.) среднее значение коэффициента возврата производителей посольского омуля равно 0,072 %. Для сравнения: исходя из фондовых материалов Госрыбцентра, промысловый возврат придонно-глубоководного омуля в последние два десятилетия равен 0,09–0,11 %.

Таблица 2 — Средние значения некоторых результатов работы Большереченского рыбоводного завода и уровня оз. Байкал по периодам

Период, годы	Средние значения за период				
	Среднегодовой уровень Байкала, см от условного нуля	Выпуск личинок, млн экз.	Вылов производителей, тыс. экз.	Коэффициент возврата производителей от личинок, %	Коэффициент стабилизирующего возврата производителей от личинок, %
1936–1946	134,8	100,4	200,1	0,232	0,090
1946–1956	126,6	151,7	306,4	0,249	0,083
1956–1966	186,4	303,1	502,8	0,180	0,062
1966–1975	202,1	459,9	371,2	0,130	0,080
1975–1985	179,4	669,0	155,0	0,023	0,047
1985–1992	224,2	563,5	384,5	0,088	0,026
1992–2004	215,2	692,8	161,4	0,020	0,038
1936–1964	147,6	187,4	322,8	0,202	0,082
1964–2004	205,0	595,6	272,4	0,072	0,046
1936–2004	180,3	427,0	286,4	0,125	0,060

Примечание. Средние значения коэффициентов возврата производителей даны для генераций, выпущенных в течение периода.

С целью выявления закономерностей, определяющих динамику коэффициента возврата производителей, был проведен соответствующий корреляционный анализ с учетом выделенной периодичности (табл. 3). Предварительный анализ позволил выделить наиболее значимые формализуемые факторы, влияющие на возврат производителей от генерации определенного года рождения, такие как уровень Байкала в год выпуска личинок;

количество личинок, выпускаемых с завода; количество производителей, зашедших в нерестовые реки и отловленных осенью предшествующего года при закладке икры. Первые два фактора косвенно отражают условия нагула личинок и мальков в соровой системе, включая конкурентные отношения на трофическом уровне. Третий фактор косвенно характеризует текущую степень использования «экологической емкости» ареала популяции.

Таблица 3 — Оценка взаимосвязи между коэффициентом возврата производителей и уровнем Байкала, объемом выпуска личинок, выловом производителей

Период, годы	Среднегодовой уровень Байкала					Количество выпускаемых личинок					Численность выловленных производителей				
	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>t_ф</i>	<i>t_{ст}</i> при <i>P</i> =0,95	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>t_ф</i>	<i>t_{ст}</i> при <i>P</i> =0,95	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>t_ф</i>	<i>t_{ст}</i> при <i>P</i> =0,95	<i>P</i>
1936–1946	-0,607	11	2,29	2,26	0,978	-0,491	11	1,69	2,26	0,909	-0,002	11	0,01	2,26	0,080
1946–1956	0,091	11	0,27	2,26	0,213	-0,882	11	5,62	2,26	0,999	-0,475	11	1,62	2,26	0,895
1956–1966	0,667	11	2,68	2,26	0,993	-0,391	11	1,28	2,26	0,800	-0,339	11	1,08	2,26	0,712
1966–1975	0,428	10	1,34	2,31	0,820	-0,906	10	6,05	2,31	0,999	-0,830	10	4,21	2,31	0,999
1975–1985	0,286	11	0,90	2,26	0,632	-0,320	11	1,01	2,26	0,688	-0,215	11	0,66	2,26	0,491
1985–1992	-0,034	8	0,08	2,45	0,064	-0,956	8	8,00	2,45	0,999	-0,134	8	0,33	2,45	0,257
1992–2004	0,370	13	1,32	2,20	0,818	-0,842	13	5,18	2,20	0,999	-0,600	13	2,49	2,20	0,987
1936–1964	-0,099	29	0,52	2,06	0,397	-0,414	29	2,36	2,06	0,982	-0,236	29	1,26	2,06	0,792
1964–2004	0,255	41	1,65	2,02	0,901	-0,823	41	9,04	2,02	0,999	-0,384	41	2,60	2,02	0,991
1936–2004	0,328	69	2,84	2,00	0,996	-0,751	69	9,30	2,00	0,999	-0,415	69	3,74	2,00	0,999

Примечания. 1. Обозначения: *r* — коэффициент линейной корреляции; *n* — количество пар значений; *t_ф* — фактическое значение критерия Стьюдента; *t_{ст}* — критическое значения коэффициента Стьюдента (*t*-критерия) для различной доверительной вероятности и числа степеней свободы; *P* — значение вероятности, при котором корреляция является статистически достоверной.

2. Выделено серым: корреляция статистически достоверна при *P* = 0,95.

Статистически достоверная отрицательная связь между величиной возврата производителей и уровнем Байкала выявлена в первые годы работы завода, что объясняется более значимым положительным воздействием на эффективность воспроизводства популяции других факторов в годы циклического снижения уровня. В годы резкого подъема уровня Байкала после завершения строительства Иркутской ГЭС (1956–1966) прослеживается его достоверная положительная связь ($r = 0,667$; $P > 0,99$) со значением коэффициента возврата производителей. В прочие периоды связь между сравниваемыми показателями либо положительная, но статистически недостоверная (1966–1975 гг. — $r = 0,428$; 1975–1985 гг. — $r = 0,286$; 1992–2004 гг. — $r = 0,37$), либо такая связь отсутствует (1946–1956; 1985–1992; 1985–1992 гг.).

Объемы выпуска личинок гораздо в большей степени влияют на значение коэффициента возврата производителей в год рождения генерации, чем уровенный режим Байкала. Причем связь между этими показателями во всех выделенных периодах отрицательная (см. табл. 3). Для четырех периодов из семи выявлена статистически достоверная корреляция (1946–1956; 1966–1975; 1985–1992; 1992–2004 гг.; $r = -0,842... -0,956$; $P > 0,999$). Достоверная взаимосвязь сравниваемых показателей выявлена и для более значительных интервалов времени — в период с начала работы завода до конца подъема уровня (1936–1964 гг. — $r = -0,414$, $P > 0,95$); в период зарегулированного стока (1964–2004 гг. — $r = -0,823$, $P > 0,999$) и в целом за годы работы завода ($r = -0,751$, $P > 0,999$) (рис. 7).

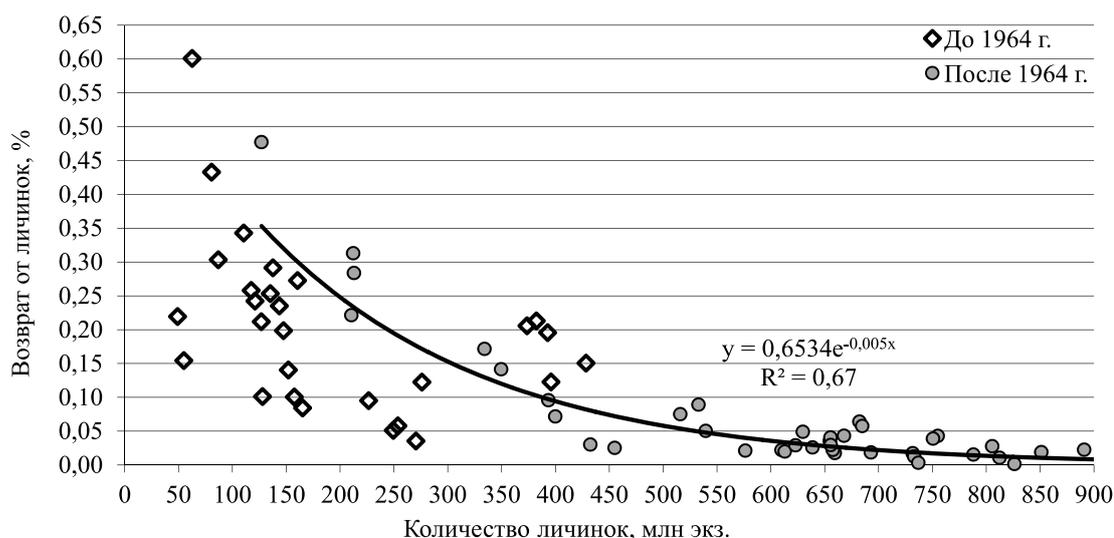


Рисунок 7 — Зависимость коэффициента возврата производителей посольского омуля от количества личинок, выпущенных с Большереченского завода в конце рыбоводного сезона

Наиболее вероятное объяснение характера кривой на рис. 7 — ухудшение обеспеченности пищей, прежде всего молоди в Посольском соре, по мере увеличения плотности личинок в результате их выпуска с рыбоводного завода.

Зависимость возврата производителей от их вылова в год рождения генерации выражена менее ярко по сравнению с количеством выпускаемых личинок при сохранении направленности связи. Для этих сравниваемых показателей характерна обратная взаимозависимость за исключением первых лет

работы завода, когда численность стада была минимальной (см. табл. 3). Статистически достоверной эта связь оказалась в 1966–1975 и в 1992–2004 гг. ($r = -0,830$ и $-0,600$ соответственно). Необходимо упомянуть, что количество пойманных производителей может влиять на коэффициент возврата производителей опосредовано, через количество выпускаемых личинок в конце рыбоводного сезона, так как этот показатель во многом определяется количеством собранной икры, которое зависит от количества пойманных производителей.

Исходя из практических целей, важно проанализировать взаимосвязь между количеством выпускаемых с завода личинок омуля и «итоговой» численностью производителей в генерации, соответствующей году выпуска (году рождения) (табл. 4). В течение начального периода связь между этими показателями не выявлена. В последующем преобладала обратная связь — увеличение объемов выпу-

ска личинок негативно влияло на численность нерестовых стад. Коэффициент линейной корреляции (r) изменялся от $-0,658$ до $-0,892$ ($P > 0,99-0,999$). Исключение составляет период заполнения Иркутского водохранилища (1956–1966), для которого отмечена положительная зависимость между количеством выпускаемых личинок и численностью генерации при размножении ($r = 0,429$).

Таблица 4 — Значение коэффициента линейной корреляции между объемом выпуска личинок и численностью отловленных производителей в генерации

Период, годы	r	n	t_{ϕ}	t_{st} при $P = 0,95$	P
1936–1946	-0,004	11	0,01	2,26	0,080
1946–1956	-0,792	11	3,89	2,26	0,999
1956–1966	0,429	11	1,42	2,26	0,844
1966–1975	-0,892	10	5,59	2,31	0,999
1975–1985	0,676	11	2,75	2,26	0,994
1985–1992	-0,755	8	2,82	2,45	0,995
1992–2004	-0,658	13	2,90	2,20	0,996
1936–1964	0,670	29	4,69	2,06	0,999
1964–2004	-0,733	41	6,72	2,02	0,999
1936–2004	-0,287	69	2,45	2,00	0,986

Примечание. Обозначения см. в табл. 3.

Обращает на себя внимание разная направленность исследуемой зависимости до 1964 г. и после него (см. табл. 4, рис. 8). При относительно малых выпусках до середины 1960-х гг. (до 400 млн экз.) наращивание масштабов зарыбления сора личинками положительно влияло на численность

производителей в генерации. Последующая работа завода сопровождалась, как правило, более мощными выпусками личинок, что существенно не влияло на дальнейшее увеличение нерестового стада, а, возможно, эффект от таких выпусков был даже отрицательным.

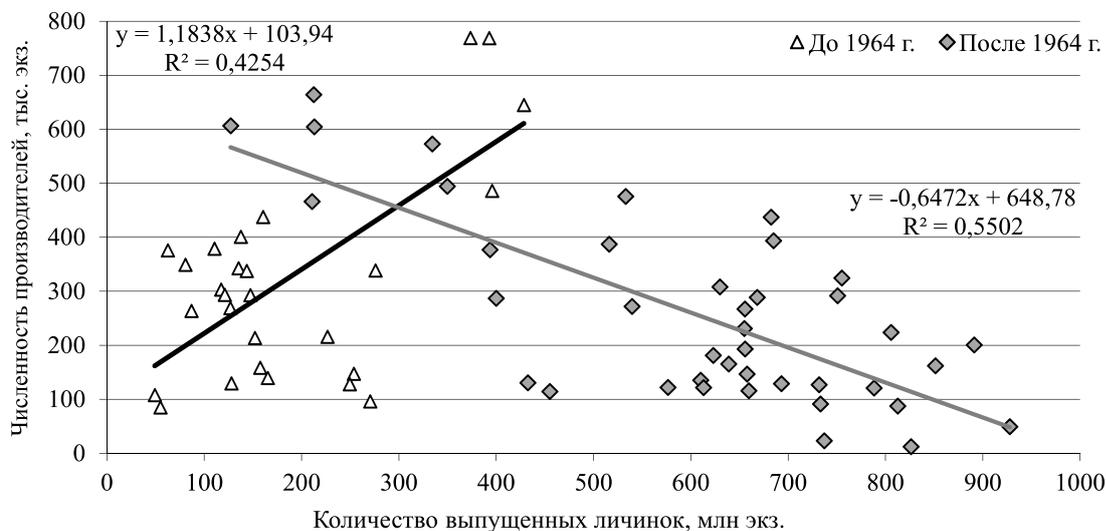


Рисунок 8 — Зависимость численности производителей в генерации от количества выпущенных с Большереченского завода личинок

По средним за период значениям (см. табл. 4) была построена кривая зависимости улова производителей в генерации от количества выпущенных личинок, ее формирующую (рис. 9). Эта кривая имеет вид опрокинутой параболы. Точка перегиба (экстремума) функции, равная — $-b/2a$ (a и b — коэффициенты параболы, см. рис. 9), соответствует значению 374 млн личинок. Такой объем зарыбления личинками Посольского сора должен обеспечивать возврат около 470 тыс. произво-

дителей омуля. Анализ многолетних результатов работы Большереченского рыбоводного завода не позволяет считать более массовые выпуски личинок обоснованными.

Как отмечалось ранее, сравнивая значения коэффициентов фактического возврата производителей и расчетного коэффициента стабилизирующего возврата (КВП/КСВ), можно оценить не только направленность изменения численности нерестового стада, но и относительную скорость этого процесса (рис. 10).

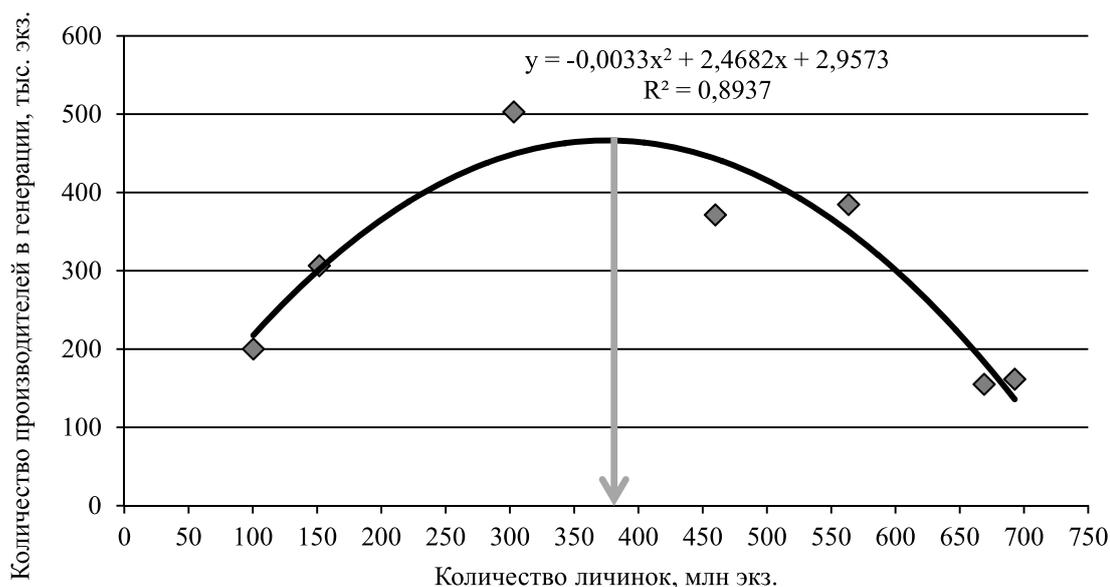


Рисунок 9 — Обоснование объемов выпуска личинок омуля с Большереченского рыбоводного завода. Точками обозначены средние значения показателей за период

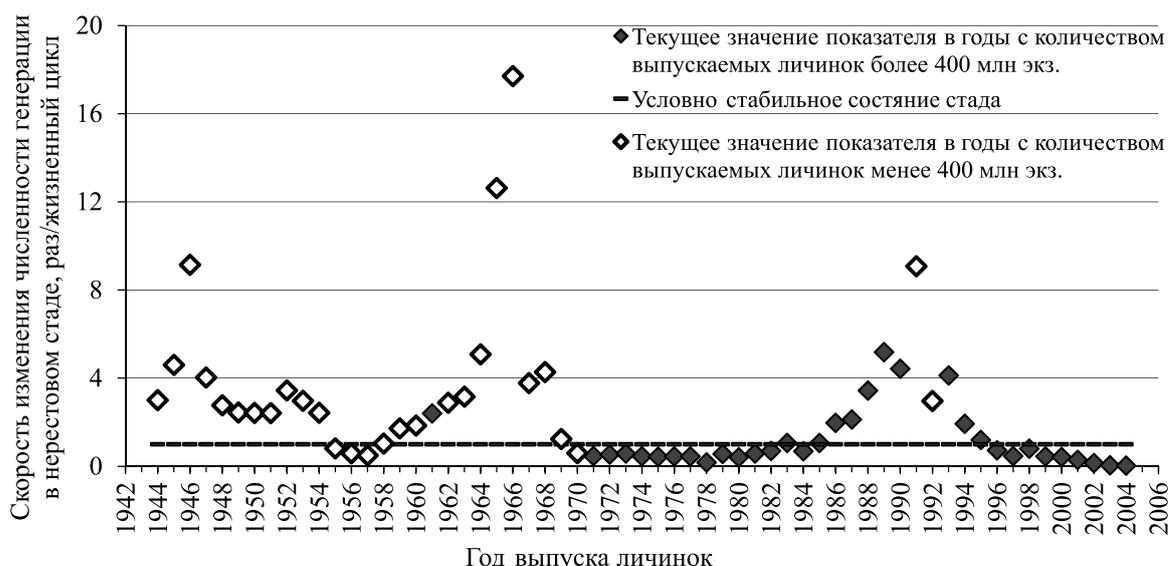


Рисунок 10 — Соотношение коэффициентов возврата производителей омуля от выпущенных личинок и стабилизирующего возврата производителей от личинок

При равенстве значений двух обсуждаемых коэффициентов возврата их отношение равно единице, что условно соответствует равновесному состоянию нерестового стада по численности. Отклонение значения отношения КВП/КСВ от единицы в большую сторону свидетельствует о возрастании численности нерестового стада в последующем жизненном цикле, при значениях отношения меньше единицы — стадо сокращается. Воспроизводство принципиально не может носить постоянно расширенный характер в долгосрочной перспективе. Исходя из теоретических предпосылок, по мере роста численности планомерно воспроизводимой популяции до уровня соответствия «экологической емкости» водоема отношение КВП/КСВ должно стабилизироваться на уровне единицы. Как указывалось ранее, ориентировочно соответствующий уровень ежегодного пополнения популяции личинками равен 400 млн экз. При выпуске меньшего количества личинок расширенное воспроизводство отмечено в 90 % случаев. Более массовые зарыбления обеспечивали увеличение численности производителей лишь в 32 %. Однако фактически обсуждаемое отношение коэффициентов возврата производителей флуктуирует в широких пределах. Вероятные причины колебаний и их периодичности обсуждались ранее. Максимальные значения относительной скорости увеличения численности генерации в нерестовом стаде были отмечены в 1946, 1966 и 1991 гг. — 9,1; 9,1 и 17,7 раза соответственно. С максимальной скоростью численность нерестового стада омуля убывала в 1956, 1978 и 2004 гг. Отношение КВП/КСВ в эти годы составило 0,5; 0,2 и 0,03 соответственно. Учитывая продолжительность жизненного цикла посольского омуля, последний минимум определяет катастрофически низкую численность нерестового стада в настоящий период, упавшую в тридцать три раза за период функционирования генерации.

Необходимо отметить, что, кроме личинок, начиная с 1970 г. в Посольский сор выпускалась молодь омуля средней массой 1 г. Выращивание молоди проводили до 1995 г. в озере-питомнике Никиткино площадью

166 га, а также в озерах Посольского рыбопитомника (оз. Бакланье, Лесное, Ризунька) с 1990 по 2016 г. общей площадью 243 га. В среднем ежегодно выпускалось 6 млн экз. Суммарный выпуск за все годы составил 201 млн экз. Однако корреляционный анализ не выявил достоверного влияния выпусков молоди на численность производителей в генерациях ($r = -0,264$; $P = 0,803$).

Проведенный анализ позволяет прогнозировать дальнейшие тенденции динамики численности популяции посольского омуля. Несмотря на экстремально низкую численность нерестового стада в современный период, отмеченные депрессивные тенденции нельзя считать необратимыми. Малые объемы выпуска последних трех лет создают благоприятные условия для резкого возрастания коэффициента возврата производителей. До настоящего времени популяция именно таким образом реагировала на экстремально низкие выпуски 1965–1967; 1991 гг. Учитывая высокое значение коэффициента заводского воспроизводства последних лет (в среднем за пять лет $K_3/АИП = 68$ %), коэффициент стабилизирующего возврата производителей снизился до 0,02 %. В конце советского периода работы завода, в последние годы относительно эффективного управления рыбным хозяйством, возврат производителей составлял 0,14–0,22 %. Следовательно, потенциально численность производителей генераций последних трех лет работы завода с минимальным уровнем воспроизводства может увеличиться в 7–11 раз и достичь 100 тыс. экз. Такое количество производителей при современном уровне технологического процесса обеспечивает сбор около 0,6 млрд икринок. Этого количества икры достаточно для зарыбления Посольского сора в обоснованном объеме — 0,4 млрд личинок. Таким образом, даже современные масштабы искусственного воспроизводства принципиально способны обеспечить выход популяции на рекомендуемый уровень искусственного воспроизводства в течение одного жизненного цикла (десять лет) с последующей стабилизацией процесса. Кроме того, выпуски личинок с завода до 2014 г. были достаточно многочисленными,

чтобы обеспечить заход около 400 тыс. производителей при среднем коэффициенте возврата за последние десятилетия 0,07 %. В легальный и нелегальный промысел придонно-глубоководный омуль вступает в возрасте семи-восьми лет. Следовательно, генерации, начиная с 2010 г. рождения, не облавливались. Промышленный лов омуля в настоящий момент запрещен. При восстановлении охраны рыбных запасов до советского уровня можно ожидать значительное увеличение численности нерестового стада посольского омуля уже в течение ближайших трех лет. Проверить это утверждение можно на основании анализа ихтиологических данных по численности поколений придонно-глубоководного омуля в Байкале еще незатронутых промыслом.

Как следует из ретроспективного анализа динамики коэффициента возврата производителей, доминирующие причины, определяющие его значение, изменяются в разные периоды работы завода.

Заключение

В целом деятельность Большереченского рыбоводного завода является примером успешного массового искусственного воспроизводства сиговых рыб в естественных водоемах, доказавшим на практике возможность эффективного пастбищного рыбоводства на Байкале. Стратегия, основанная на массовом выпуске личинок омуля, принципиально способна обеспечивать как расширенное воспроизводство популяции, так и относительную стабилизацию ее численности на высоком уровне. Как результат, вылов производителей воспроизводимой популяции в нерестовых реках Посольского сора вырос с 20–60 т в первые годы работы завода до 330 т в среднем в 1970-е гг. Отличительной особенностью байкальского рыбоводства, включая Большереченский завод, является переход на уникальную и наиболее прогрессивную технологию сбора икры омуля экологическим методом. Высокая производительность этой технологии в сочетании с хорошо отработанной биотехникой инкубации икры позволяют осуществлять массовое зарыбление Байкала личинками при низкой их себе-

стоимости. Однако искусственное воспроизводство лишь один из элементов активного управления рыбными запасами. Как показал проведенный анализ, величина возврата производителей омуля периодически колеблется в широких пределах. За период, равный жизненному циклу, численность генерации может как возрасти в 17 раз, так и снизиться в 30 раз, как это произошло в настоящее время. Причины, определяющие динамику численности воспроизводимой популяции, за годы работы завода различались. Одна из них — превышение биологически обоснованного объема выпуска личинок в Посольский сор на протяжении сорока лет, начиная с 1970 г. Кроме того, существенное дестабилизирующее влияние на эффективность воспроизводства омуля оказали зарегулирование уровня Байкала в связи со строительством Иркутской ГЭС и последующая перестройка экосистем прибрежно-соровых акваторий. Катастрофическое снижение численности всех популяций байкальского омуля, включая посольскую, за последние полтора десятка лет демонстрирует неэффективность современной системы регулирования рыбных запасов в бассейне и во многом объясняется социальными и организационно-экономическими причинами. Кроме браконьерства, одной из такого рода причин является деградация промысла частиковых рыб на Байкале. В настоящий период запасы плотвы, ельца, окуня по организационно-экономическим причинам не осваиваются [11]. На основе принципа системного подхода при активном управлении рыбными запасами важным условием для восстановления запасов омуля является не только наращивание масштабов его искусственного воспроизводства, но и возобновление полномасштабного промысла частиковых рыб, являющихся конкурентами и хищниками в прибрежно-соровой системе Байкала для молоди омуля. Мероприятия по восстановлению байкальского омуля и посольской популяции, в частности, могут быть успешными только в случае комплексного подхода. Искусственное воспроизводство, безусловно, лишь один из важных элементов в этом комплексе мер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Todd T.N., Arbor A. Artificial propagation of coregonines in the management of the Laurentian Great Lakes // Arch. Hydrobiol. 1986. V. 22. P. 31–50.
2. Смирнов В. В., Шумилов И. П. Омули Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 160 с.
3. Семенченко С. М., Палубис С. Э., Майстренко С. Г. Общая характеристика заводского воспроизводства // Состояние и проблемы искусственного воспроизводства байкальского омуля. СПб.: ГосНИОРХ, 2001. С. 25–34.
4. Семенченко С. М., Палубис С. Э. Итоги работ по искусственному воспроизводству байкальского омуля // Вопр. рыболовства. 2006. Т. 7, № 1 (25). С. 137–149.
5. Дрягин П. А. Формирование рыбных запасов в водохранилищах СССР // Изв. ГосНИОРХ. 1961. Т. 50. С. 382–394.
6. Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология / под ред. Ю. В. Герасимова. Ярославль: Филигрань, 2015. 418 с.
7. Топорков И. Г. Экология молоди посольского омуля // Экология, болезни и разведение байкальского омуля. Новосибирск: Наука, 1981. С. 55–70.
8. Дзюменко Н. Ф. Новая технология сбора икры байкальского омуля // Рыбное хозяйство. 1984. № 10. С. 26–27.
9. Матковский А. К. Основные закономерности динамики численности муксуна *Coregonus muksun* реки Обь // Вопр. рыболовства. 2006. Т. 7, № 3 (27). С. 505–521.
10. Матишов Г. Г. Состояние и общие задачи отечественного рыболовства и аквакультуры // Задачи государства в становлении морского и пресноводного рыболовства: опыт, ошибки и перспективы импортозамещения: собрание докл. Расширенного заседания Президиума ЮНЦ РАН. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. С. 5–43.
11. Калягина Н. Ф., Тугарин А. И., Петерфельд В. А. Биологические показатели и состояние запасов плотвы (*Rutilus rutilus lacustris* Pallas) Селенгинского мелководья оз. Байкал в современный период // Вестн. рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3, № 3. С. 11–20.

EFFICIENCY OF ARTIFICIAL REPRODUCTION OF THE POSOLSK SUBPOPULATION OF BAIKAL OMULS (*COREGONUS MIGRATORIUS*)

S.M. Semenchenko

Federal State Budgetary Scientific Institution “State Scientific-and-Production Center of Fishery”,
Tyumen, Russia 625023

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “State Agrarian University
of Northern Zauralye”,
Tyumen, Russia 625003

*For 85 years Bolsherechye Fish Factory has reproduced Baikal omuls (*Coregonus migratorius*). In total, 35.8 billion larvae were produced in Lake Baikal. The information available makes it possible to analyze performance of the factory. During the first forty years annual volumes of larvae the factory produced were growing steadily. From the beginning of 1970s till 2007 the number of produced larvae remained within the range from 0.43 to 0.93; or 0.67 billion larvae in average. Later, the volume of production started decreasing to 49.5 million larvae it reached in 2016 due to shortage of spawners. On the whole, during the first 40 years of operation the number of spawning fish stock of the reproduced population grew from 30–50 thousand species to 962 thousand species. From 1972 till 1990 catches of spawning omuls were steadily dropping to 69 thousand species. This drop was attributable to response of the population to flow control in Baikal. Later, the annual number of fish entering Baikal was growing again having increased up to 0.5 million species by 2004. This growth was attributable to adaptation of omuls to the new environmental conditions. At the present moment the population reproduced by the factory is decreasing. The number of fishes caught annually fluctuates within the range from 9.3 to 20.5 thousand species. The share of spawners returning to spawning grounds in the total number of larvae produced in the generation for the years of operation varied from 0.001% at the present moment to 1.601% in 1946, with an average share of 0.125%. We detected inverse relation between the*

annual number of produced larvae and the rate of spawners return to spawning grounds, which is attributable to trophic level limits of Posolsk Sor which plays the role of a nursery pond. Increase in the volume of larvae production to more than 400 million a year had a negative impact on the number of spawners returning to spawning grounds. Analysis of performance of the factory demonstrates fundamental opportunities to reach great abundance of the reproduced populations through mass omul larvae production without nursing. The present low efficiency of industrial reproduction of omuls is related to combined negative effects of ecological, social, and economic factors.

Key words: Baikal omul; artificial reproduction; fish breeding factory; population; abundance; reproduction efficiency; larva; spawning stock; spawners; catch; return; generation

REFERENCES

1. Todd T.N., Arbor A. Artificial propagation of coregonines in the management of the Laurentian Great Lakes. Arch. Hydrobiol. 1986. V. 22. P. 31–50.
2. Smirnov V.V., Shumilov I.P. [Baikal Omuls]. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1974. 160 p. (In Russ.)
3. Semenchenko S.M., Palubis S.E., Maistrenko S.G. [Basic Characteristics of Industrial Reproduction]. Current State and Issues of Artificial Reproduction of Baikal Omuls. St.-Petersburg: State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries, 2001. P. 25–34. (In Russ.)
4. Semenchenko S.M., Palubis S.E. [Summary of Artificial Reproduction of Baikal Omuls]. Problems of Fisheries. 2006. V. 7, No.7 (25). P. 137–149. (In Russ.)
5. Dryagin P.A. [Formation of Fish Reserves in Ponds of the USSR]. Bulletin of State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries. 1961. V. 50. P. 382–394. (In Russ.)
6. [Fish of Rybinsk Reservoir: Population Dynamics and Ecology]. Edited by Gerasimova Y.V. Yaroslavl: Filigran (Publ.), 2015. 418 p. (In Russ.)
7. Toporkov I.G. [Ecology of Young Posolsk Omuls]. Ecology, Diseases, and Breeding of Baikal Omuls. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1981. P. 55–70. (In Russ.)
8. Dzyumenko N.F. [Novel Technique of Baikal Omul Spawn Harvesting]. Fisheries. 1984. No.10. P. 26–27. (In Russ.)
9. Matkovsky A.K. [General Trends in Dynamics of Abundance of the *Coregonus muksun* in the Ob River]. Problems of Fisheries. 2006. V. 7, No.3 (27). P. 505–521. (In Russ.)
10. Matishov G.G. [Current State and General Objectives of Russian Fishing and Aquaculture]. National Objectives in Formation of Sea and Freshwater Fish Farming: Experience, Mistakes, and Prospects of Import Replacement: Collection of Reports of the Extended Meeting of the Presidium of the Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences. Rostov-on-Don: Publ. House of the Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 2015. P. 5–43. (In Russ.)
11. Kalyagina N.F., Tugarin A.I., Peterfeld V.A. [Biological Indicators and the Present State of Reserves of the *Rutilus rutilus lacustris* Pallas in Seleginsk Shallow Waters of Lake Baikal]. Bulletin of Fisheries Science. 2016. V. 3, No.3. P. 11–20. (In Russ.)

Об авторе

Семенченко Сергей Михайлович,
кандидат биологических наук,
начальник отдела аквакультуры
ФГБНУ «Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства»
625023, г. Тюмень, ул. Одесская, 33
(3452) 41-69-13; SemSM07@yandex.ru
доцент кафедры водных биоресурсов
и аквакультуры
ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»
625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7

About the author

Sergey Mikhailovich Semenchenko,
Candidate of Biological Sciences,
Head of the Division of Aquaculture,
Federal State Budgetary Scientific Institution
“State Scientific-and-Production Center of Fishery”,
33, Odesskaya str., Tyumen 625023
+7 3452 41-69-13; SemSM07@yandex.ru
Associate Prof. at the Department of Aquatic
Bioresources and Aquaculture,
Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education “State Agrarian University
of Northern Zauralye”
7, Respubliki str., Tyumen 625003