

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

На правах рукописи



ШИБАЕВ ЛЕОНИД ВАДИМОВИЧ

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА
СИГА (*Coregonus lavaretus L.*) КУРШСКОГО ЗАЛИВА
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

03.02.06 Ихтиология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель
кандидат биологических наук, доцент
А.В. Соколов

Калининград – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	5
1 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА	9
2 КУРШСКИЙ ЗАЛИВ КАК МЕСТО ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫСЛА СИГА.....	11
2.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика	11
2.2 Гидробиологическая характеристика и кормовая база	15
2.3 Ихтиофауна.....	16
2.4 Рыболовство на Куршском заливе	18
2.5 Роль сига в Куршском заливе и характер его промыслового использования.....	19
3 ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИГА	24
3.1 Систематическое положение сига Куршского залива	24
3.2 Экологические условия нереста сига.....	26
3.3 Структура нерестового стада	30
3.3.1 Размерная структура	30
3.3.2 Весовая структура	33
3.3.3 Половая структура	34
3.3.4 Возрастная структура	37
3.3.5 Плодовитость.....	39
3.4 Рост сига в естественных условиях.....	41
3.4.1 Размерно-весовые показатели.....	41
3.4.2 Зависимость «длина-масса»	43
3.4.3 Обратные расчисления роста	45
3.4.4 Сравнительный анализ роста сига в водоёмах Южной Балтики	52
3.4.5 Оценка оптимальной навески выпускаемой молоди	53
3.5 Сравнительный анализ морфометрических показателей популяций сига в водоемах Калининградской области	54

4	ОСОБЕННОСТИ БИОТЕХНИКИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗВ.....	63
4.1	Заготовка производителей	63
4.1.1	Нерестовый ход сига.....	63
4.1.2	Отлов производителей.....	68
4.1.3	Выдерживание производителей сига	69
4.1.4	Взятие половых продуктов, осеменение и закладка икры на инкубацию	70
4.1.5	Учет икры и определения ее качества	72
4.2	Инкубация икры и эмбриональное развитие.....	73
4.2.1	Особенности инкубации икры	73
4.2.2	Получение двух партий личинки сига	75
4.2.3	Эмбриональное развитие.....	80
4.2.4	Вылупление предличинки	82
4.3	Выращивание личинок и подращивание мальков сига.....	84
4.3.1	Особенности выдерживания предличинок.....	84
4.3.2	Подращивание до навески 40-50 мг.....	85
4.3.3	Подращивание до навески 300 мг	88
4.3.4	Выращивание мальков сига до навески более 2 г	90
4.3.5	Выпуск подрощенной молоди сига в Куршский залив.....	92
4.3.6	Выживаемость личинок и молоди сига при выращивании в условиях УЗВ	92
4.3.7	Общие закономерности роста сига в УЗВ	94
4.4	Общая характеристика технологического оборудования Экспериментального рыбоводного цеха.....	98
4.4.1	Участок по выдерживанию производителей сига	99
4.4.2	Инкубационное отделение	100
4.4.3	Личиночное отделение	101
4.4.4	Мальковое отделение.....	102

4.4.5 Рыбоводные нормативы для выращивания сига Куршского залива в условиях УЗВ.....	103
4.5 Особенности биологической очистки воды при выращивании сига.	107
4.5.1 Основные требования к гидрохимическим показателям при выращивании сига в установках замкнутого водоснабжения.....	107
4.5.2 Первичный запуск биофильтра	109
4.5.3 Эксплуатации биофильтра при особо низких температурах.....	110
4.5.4 «Разгон» биофильтра на режим работы с максимальной нагрузкой.	111
4.5.5 Повторный запуск биофильтра после проведения санитарно-профилактических работ	114
5 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА.....	115
5.1 Приемная емкость Куршского залива и оценка эффективности искусственного воспроизводства сига.....	115
5.2 Модель технологического процесса	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	141
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы и степень разработанности. Поддержание сырьевой базы отечественного рыболовства является важной задачей обеспечения устойчивого развития рыбного хозяйства. При этом существенное значение приобретает искусственное воспроизводство гидробионтов, как мера, способствующая сохранению биоразнообразия и формированию сырьевой базы рыболовства. Не случайно в последние несколько лет в Российской Федерации принята целая серия нормативных актов, направленных на стимулирование инвестиционной привлекательности различных видов аквакультуры [109, 110].

Куршский залив является одним из наиболее продуктивных водоемов России, который обеспечивал ежегодное получение рыбопродукции до 13 тыс. т [76]. Однако в 1960-1970 гг. в связи с негативным антропогенным воздействием произошло резкое снижение численности ряда ценных промысловых видов рыб, таких как лосось, рябец, сиг. Это обусловило необходимость принятия мер по охране и восстановлению промысловых запасов, в том числе и за счет искусственного воспроизводства. К настоящему времени работы по восстановлению запасов лосося в Литовской республике дали положительный результат и даже начато его рекреационное рыболовство; рябец адаптировался к новым условиям, и запас его достиг промыслового уровня; в то же время нерестовое стадо сига, из-за ухудшения условий нереста находится в депрессивном состоянии. С середины 90-х гг. были начаты работы по организации искусственного воспроизводства сига в Куршском заливе. Было разработано биологическое обоснование, проведены экспериментальные исследования по отработке биотехнике искусственного воспроизводства [60], и начаты проектные работы. В целом этот подготовительный этап занял более 10-ти лет. К моменту ввода в эксплуатацию Экспериментального рыбоводного цеха в 2009 г., не было известно состояние нерестового запаса и возможности заготовки производителей, а разработанные в экспериментальных условиях рыбоводные рекомендации требовали адаптации к условиям промышленного производства на современном оборудовании в установке замкнутого водоснабжения.

Цель работы - разработка биолого-экологической и биотехнической основы искусственного воспроизводства и восстановления запасов сига Куршского залива Балтийского моря.

Задачи:

1) Дать характеристику современного состояния нерестового стада сига в Куршском заливе, его биологических параметров, выявить особенности нерестового хода в зависимости от экологических факторов;

2) Оценить возможности заготовки производителей в современных условиях с учетом перспективы увеличения объемов искусственного воспроизводства, целесообразность формирования ремонтно-маточного стада, разработать организационную схему заготовки производителей;

3) Дать характеристику особенностей технологического процесса и провести уточнения рыбоводных нормативов при выращивании сига в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ). Разработать алгоритм управления качеством воды и работой биофильтров в условиях низких температур;

4) Разработать биотехнику получения нескольких партий личинок с целью повышения эффективности искусственного воспроизводства;

5) Провести морфометрический анализ популяций сига водоемов Калининградской области и оценить возможность использования посадочного материала для зарыбления в регионе;

6) Изучить закономерности роста сига в раннем онтогенезе и определить оптимальные размеры выпускаемой молодежи;

7) Разработать математическую модель популяции сига для определения приемной емкости Куршского залива.

8) Разработать математическую модель выращивания сига с целью оптимизации технологического процесса.

Декларация личного участия. Автором поставлены задачи, проведены полевые исследования и эксперименты, выполнена камеральная математическая и статистическая обработка материала, отработаны все элементы технологического процесса от заготовки производителей до выпуска молодежи. Разработана модель оптимизации процесса выращивания сига в условиях УЗВ.

Научная новизна и теоретическая значимость работы. Впервые дана характеристика нерестового стада сига Куршского залива, выявлена зависимость нерестового хода от экологических факторов, установлены закономерности роста сига в естественных и искусственных условиях, в том числе на стадиях жизненного цикла (1-4 года) которые не проходят в Куршском заливе. Исследованы особенности эмбрионального развития и возможность управления им, разработана модель роста и динамики численности, проведены обратные расчисления роста, предложена оригинальная методика оценки приемной емкости Куршского залива.

Практическая значимость работы. Научные разработки, внедренные в практическую работу предприятия, способствовали выполнению государственного задания по выпуску подрощенной молоди сига в течение шести лет. Разработанная технология дробного вылупления позволила повысить эффективность использования бассейновых площадей и улучшить условия выращивания молоди. Материалы диссертации были использованы для обоснования увеличения объемов искусственного воспроизводства без превышения приемной емкости.

Методология и методы исследования. В ходе исследований были применены стандартные и оригинальные методики. Для анализа результатов использовались методы вариационной статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) Несмотря на депрессивное состояние популяции сига в настоящее время возможна заготовка производителей сига в необходимых объемах без создания ремонтно-маточного стада, в том числе в условиях расширенного искусственного воспроизводства. Создание и содержание ремонтно-маточного стада нецелесообразно.

2) Технология получения нескольких партий личинок от одной генерации икры путем замедления эмбрионального развития низкими температурами.

3) Обоснование оптимальной навески выпускаемой молоди на основе результатов обратных расчислений роста.

4) Методика расчета приемной емкости Куршского залива по сигу с использованием имитационной модели.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена большим объемом собранного и обработанного фактического материала за многолетний период. Анализ материала осуществлялся, в том числе, с использованием математической статистики, регрессионного анализа и методов математического моделирования. Достоверность полученных результатов подтверждена в промышленных условиях при выполнении государственного задания по воспроизводству сига Куршского залива. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на международной научной конференции «Инновации в науке и образовании» (Калининград 2010, 2012), Седьмом всероссийском совещании по биологии и биотехнике сиговых рыб (Тюмень, 2010), семинарах международного проекта «Aquaculture based fisheries management» (Copenhagen 2012; Riga 2012; Gdynia 2013; Vilnius 2013; Bergen, 2014); рабочей группе Helcom по мигрирующим видам (Berlin, 2014); на ежегодных сессиях смешанной российско-литовской комиссии по рыбному хозяйству.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в т.ч. 3 статьи в изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 160 с., состоит из введения, пяти разделов, заключения, практических рекомендаций, содержит рисунков – 51, таблиц – 25, библиография – 153 наименования, в том числе иностранных – 24.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю канд. биол. наук А.В.Соколову, начальнику отдела по воспроизводству и сохранению ВБР ФГБУ «Запбалтрыбвод» О.А.Полякову, сотрудникам Экспериментального рыбоводного цеха ФГБУ «Запбалтрыбвод» И.М.Фролову, О.Ю.Маташенко, Е.В.Шпокайте, В.Л.Пархоменко, А.С.Пьянову, Т.М.Егоровой, сотрудникам кафедры ихтиологии и экологии Калининградского государственного технического университета за большую помощь в работе и ценные рекомендации.

1 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили исследования, которые приводились в процессе выполнения государственного задания по воспроизводству сига в Куршском заливе в течение шести лет с 2009 по 2014 г. Они включают в себя данные обловов сига при заготовке производителей и биологический анализ особей со взятием регистрирующих структур для определения возраста. Лов рыбы производился на нерестилищах с использованием набора ставных сетей из монопнети с шагом ячеи 50-60 мм. Кроме того, с целью изучения размерной структуры нерестового стада сига, видовой структуры ихтиоценоза на нерестилищах проводились контрольные обловы набором сетей с шагом ячеи 14-70 мм. Все отловленные особи сига подвергались полному биологическому анализу [86]. В качестве регистрирующей структуры для определения возраста использовалась чешуя. Объем собранного материала представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Объем собранного материала, экз.

Год	Количество обловов	Полный биологический анализ	Плодовитость	Возраст
2009	51	109	3	109
2010	49	85	1	76
2011	65	230	1	147
2012	40	331	52	270
2013	32	321	6	244
2014	24	309	34	248
Всего	261	1365	97	1094

При анализе динамики промысла и роли сига в промысловых уловах использовались материалы ФГУ «Запбалтрыбвод» за период 1970-2000 гг. в виде базы данных информационно-аналитической системы «Рыбвод». Всего учтены результаты анализа видового и размерного состава более 288 промысловых уловов.

Обратные расчисления роста 1026 шт. производились по чешуе с использованием модифицированной методики, позволяющей учесть вариативность диаметра чешуи у одноразмерных особей и феномен Розы Ли [119].

Батиметрическая карта нерестилищ составлялась на основе данных полученных с помощью гидроакустического комплекса «Аскор».

Морфометрический анализ рыб проводился по общепринятой схеме сиговых рыб [86], использовалась стратифицированная выборка – 1-3 экз. каждой размерной группы через 1 см. Всего было проанализировано 83 экз. (49 экз. - озеро Виштынецкое и 34 экз. - Куршский залив).

Изучение влияния температуры на скорость эмбрионального развития проводилось в инкубационном отделении в четырех сериях экспериментов. Контроль параметров среды при выращивании личинок и молоди осуществлялся по температуре не прерывно, по кислороду еже часно, по общему азоту, нитритам, нитратам и рН ежедневно. Температура воды в инкубационном отделении регулировалась чиллером, в личиночном и мальковом отделениях – системой терморегуляции. Питание водой осуществлялось из артезианской скважины через систему водоподготовки в объеме до 8% в сутки.

Масса особей определялась каждые пять дней путем взвешивания случайной выборки из каждого контура замкнутой системы водоснабжения в количестве 25-30 экз. Отход рыбы определялся ежедневно путем подсчета погибшей рыбы в каждом бассейне. Всего проведено более 8000 измерений, на основе которых была сформирована база данных.

Статистическая обработка и корреляционный анализ, а так же построение модели популяции осуществлялись в пакете MS Excel. Алгоритмы расчетов параметров уравнения роста, коэффициентов смертности взяты из современных руководств [118].

2 КУРШСКИЙ ЗАЛИВ КАК МЕСТО ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫСЛА СИГА

2.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика

Куршский залив представляет собой лагуну Балтийского моря. Залив отделен от моря Куршской косой протяженностью около 97 км и соединяется с морем проливом в районе г. Клайпеда (Рисунок 1) [15]. Географические координаты Куршского залива:

северная точка:	N 55 ⁰ 43'34"; E 21 ⁰ 05'54";
южная точка:	N 54 ⁰ 53'27"; E 21 ⁰ 05'07";
западная точка:	N 54 ⁰ 57'31"; E 20 ⁰ 31'54";
восточная точка:	N 55 ⁰ 18'07"; E 21 ⁰ 18'03"

Длина береговой линии Куршского залива равна 611,8 км. Площадь поверхности 1610,21 км². Объем воды в заливе равен 6,2 км³, основная доля которой находится в южной части, где преобладают глубины от 4 до 6 метров. Северная часть более мелководна, здесь преобладают глубины до 2 м. Восточная часть Куршского залива более мелководна по сравнению с западной. Средняя глубина залива составляет 3,7 м [17, 18, 56], максимальная достигает 18 м в Клайпедском проливе. Средний уровень поверхности воды в заливе на 12 см выше среднего уровня воды в Балтийском море.

Рельеф дна Куршского залива характеризуется незначительными уклонами. Около 99,5% всей поверхности дна имеет наклон менее 1⁰. Типы донных отложений в заливе весьма разнообразны. Пески наиболее распространены в северной части залива и на восточном, западном и южном побережьях. Осадки в виде ила встречаются в наиболее глубоководных южной и средней частях залива [46, 48, 112]. На некоторых участках встречается гравийно-галечный грунт с валунами, тогда как на других наблюдается постепенный переход к тонкодисперсным отложениям. Особенностью грунтов Куршского залива является наличие примеси ракушки.

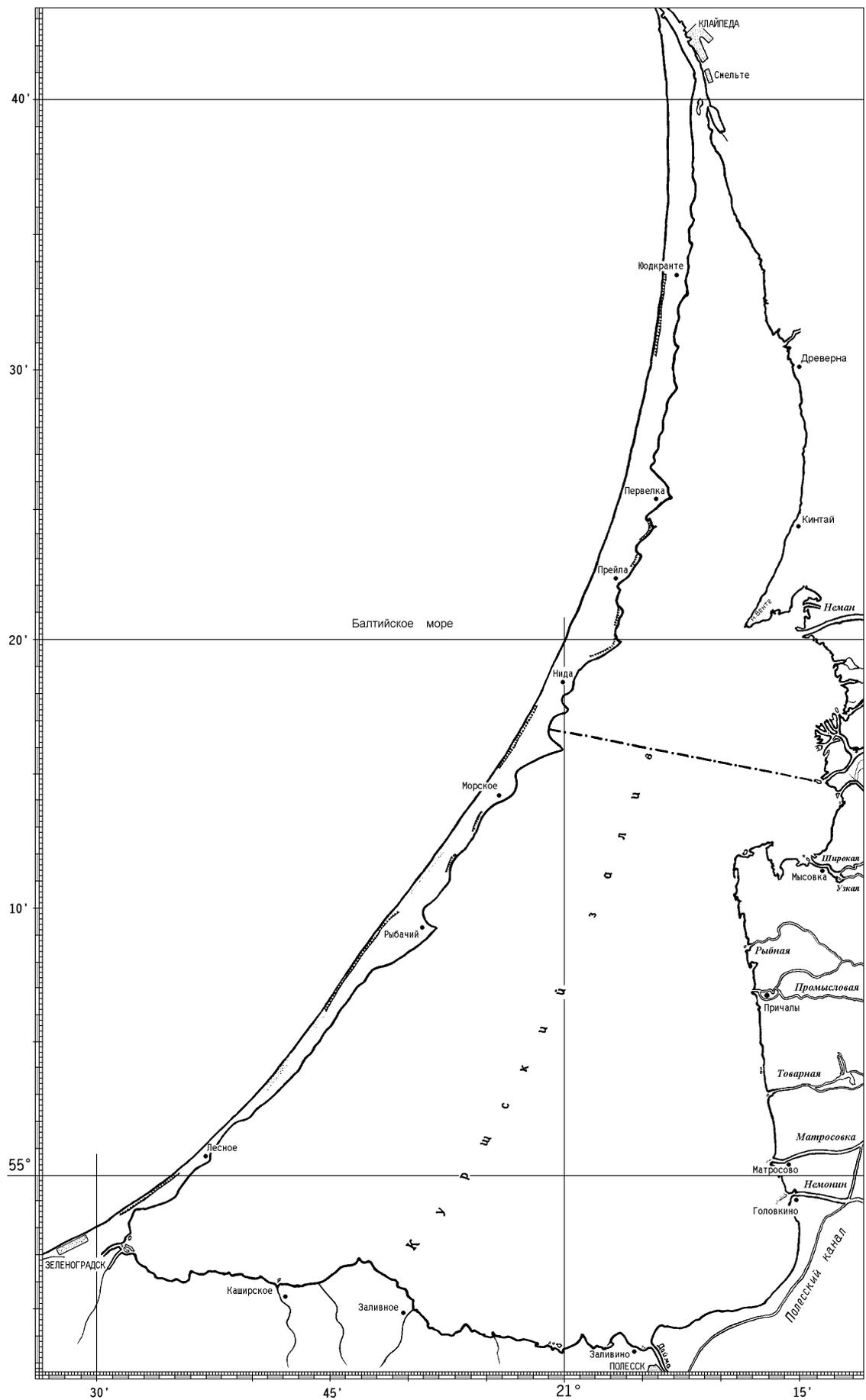


Рисунок 1 – Карта-схема Куршского залива

Донные осадки залива, в особенности илистые грунты, богаты органическими веществами, что благоприятно сказывается на развитии донных беспозвоночных организмах.

Куршский залив является промежуточным звеном между наиболее крупной рекой Неман, втекающей в него, и Балтийским морем. Поэтому колебание уровня воды в заливе зависит в основном от уровня Балтийского моря и величиной стока рек, впадающих в залив. Со второй половины марта, за счет увеличения стока, уровень воды в заливе начинает быстро увеличиваться и в апреле достигает первого годового максимума. После этого наблюдается спад и в июне уровень воды в заливе снижается до минимального годового значения. В июле-августе, вследствие подъема уровня Балтийского моря, уровень воды в заливе постепенно повышается и к концу года достигает своего второго максимума. С января по март происходит постепенное понижение уровня воды в заливе. Таким образом, в течение года можно выделить довольно резкий весенний подъем уровня воды в заливе и летний спад (Рисунок 2). В остальное время года уровень воды меняется плавно, и подъемы воды сменяют не большие понижения уровня [14, 22, 23, 24 115].

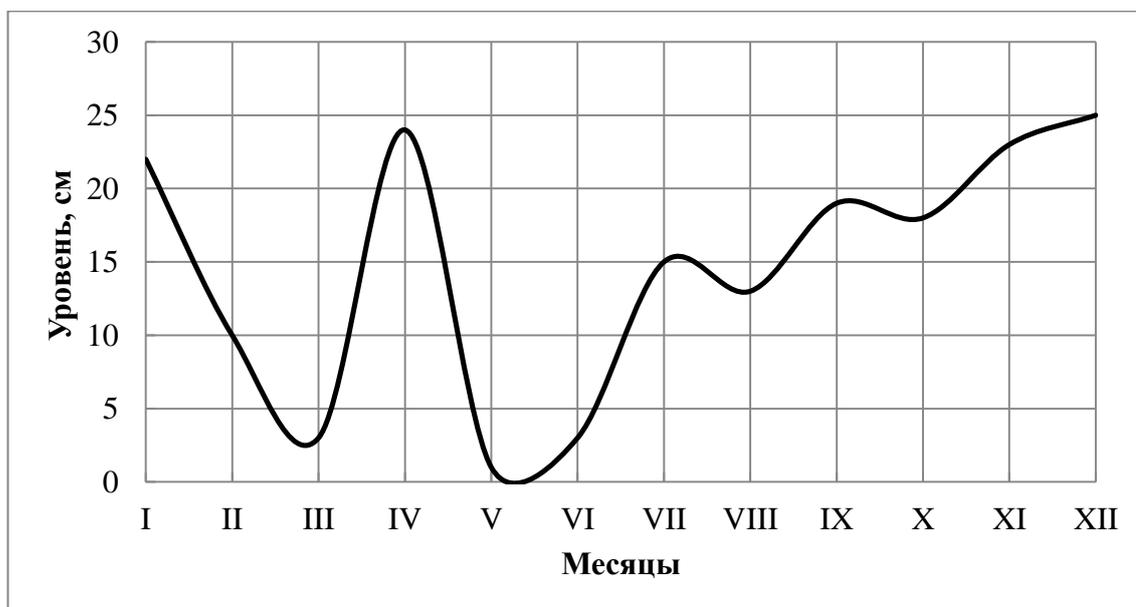


Рисунок 2 – Сезонная динамика уровня воды в Куршском заливе

Температура воды в Куршском заливе изменяется в широких пределах в зависимости от времени года. Гидрологическая весна в заливе начинается во второй половине апреля, когда температура воды начинает быстро подниматься и ко второй половине мая достигает 10,5-14,0°C (Рисунок 3) [47, 50, 88, 127, 130]. Температура воды в северной части залива зависит от температуры воды в Балтийском море, которая в это время составляет 5,0-7,5°C и нагонных ветров. Температура воды в центральной части залива зависит от температуры воды впадающих в залив рек.

Гидрологическое лето в заливе наступает в июле. В это время наблюдается наиболее высокая температура воды, порядка 19,0-24,0°C. В это время Балтийское море и впадающие в залив реки не оказывают существенное значение на температуру воды в заливе.

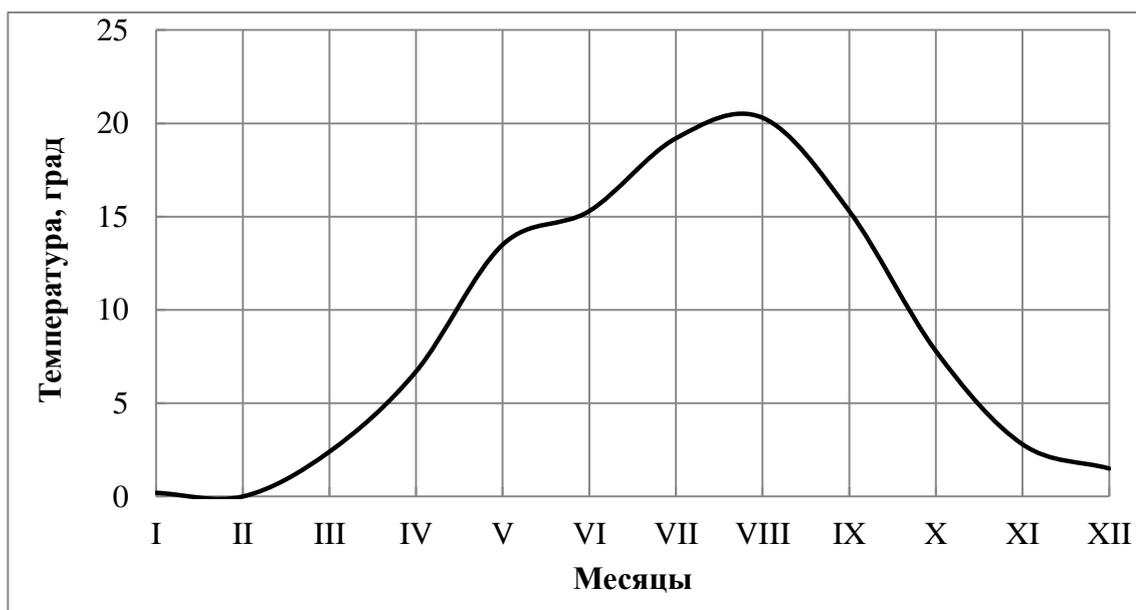


Рисунок 3 – Сезонная динамика температуры воды в Куршском заливе

Во второй половине августа температура воды в заливе начинает понижаться. В осеннее время температура воды в Балтийском море на 4,0-8,0°C выше температуры воды в заливе. Таким образом, при нагонных ветрах в северную часть залива поступает теплая вода Балтийского моря. Температура

воды впадающих в залив рек в осенний период слабо отличается от температуры воды в заливе и не оказывает существенного влияния.

По термическому режиму залив также условно подразделяют на три района: южный, центральный и северный. Разница температуры воды между районами не превышает 2°C. С продвижением с юга на север наблюдается снижение температур. На температуру центрального района влияет сток реки Неман, северный район находится под влиянием морских вод, летом охлаждающих его, зимой – отепляющих (Таблица 2).

Таблица 2 – Средняя температура воды в Куршском заливе по районам [15]

Район залива	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южный	0,2	0,1	3,0	7,3	14,0	15,7	19,6	20,3	15,4	7,7	2,6	1,0
Центральный	0,2	0,0	2,4	6,7	13,2	15,3	19,0	20,3	15,3	7,8	2,7	1,1
Северный	0,3	0,1	1,8	5,3	13,0	14,9	18,8	20,2	15,2	7,9	3,3	2,0

Распределение температуры по вертикали характеризуется изотермией – разница между поверхностной и придонной температурами не превышает 1°C. Весной и летом поверхностные воды несколько теплее, а осенью и зимой – холоднее, чем придонные (Таблица 3).

Таблица 3 – Вертикальное распределение температуры воды в Куршском заливе [15, 17]

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,5	0,2	0,0	1,8	7,7	14,8	15,7	20,1	19,3	14,5	7,7	4,0	1,0
1,5	0,4	0,0	1,5	7,0	14,2	15,6	19,8	19,3	14,7	7,1	4,0	1,2
2,5	0,7	0,3	0,5	6,9	13,8	15,5	19,5	19,2	14,8	6,8	4,1	1,4
3,5	1,1	0,4	0,5	6,8	13,7	15,3	19,4	19,1	14,8	6,5	4,3	1,5

2.2 Гидробиологическая характеристика и кормовая база

Зоопланктон. В качестве кормовых объектов промысловых рыб большое значение в Куршском заливе имеют коловратки (*Rotatoria*), ветвистоусые (*Cladocera*) и веслоногие ракообразные (*Copepoda*). Размер этих орга-

низмов, как правило, 1-3 мм, т.е. это представители микро- и мезозоопланктона [36, 38, 46, 49, 68, 69, 70,71, 108, 146, 149, 151,].

В составе зоопланктона обнаружено 136 видов и подвидов, относящихся к 60 родам. *Rotatoria* представлены 79 видами (25 родов), *Cladocera* – 33 видами (21 род), *Copepoda* – 24 видами (14 родов).

Доминирующими видами являются: коловратки *Keratella quadrata*; ветвистоусые ракообразные: *Chydorus sphaericus*, *Daphnia longispina*, *Bosmina coregoni*; веслоногие ракообразные: *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus graciloides*.

В сообществе по численности преобладают веслоногие и ветвистоусые, по биомассе – ветвистоусые. Таким образом, по своей структуре зоопланктон залива может быть отнесен к рачковому типу [37, 70, 101, 105].

Зообентос. Кормовой базой рыб в основном является макрозообентос. Размер этих организмов превышает несколько миллиметров. Это преимущественно беспозвоночные животные. Всего в заливе обнаружено более 200 видов бентосных организмов [3, 13, 45, 48, 95, 103, 104, 128, 136].

Макрозообентос представлен, в основном, тремя систематическими группами – личинками комаров-звонцов (*Chironomidae*), малощетинковыми червями (*Oligochaeta*) и моллюсками (*Mollusca*) [46,81, 82, 83, 89, 94]. Доминирующими группами являются хирономиды и олигохеты. Пресноводность и преобладание илистых грунтов в российской акватории являются благоприятными условиями для развития этих групп организмов.

2.3 Ихтиофауна

Ихтиофауна Куршского залива по данным И. Манюкаса (1959) в 1950-х гг. насчитывала 43 вида круглоротых и рыб. Современный список, с учетом литературных данных и натуральных наблюдений, включает два вида круглоротых и 52 вида рыб [1, 9, 10, 106,114, 129, 145, 149].

Отмечены различия в видовом составе ихтиофауны российской и литовской частей Куршского залива, что объясняется разницей гидрологиче-

ских условий. Северная (литовская) акватория сильно подвержена воздействию втока морских вод через Клайпедский пролив, здесь соленость достигает более 7‰ [11]. Соответственно ихтиофауна в этой части залива обогащается за счет балтийских морских видов. Южная (российская) часть залива практически пресноводная (соленость менее 0,1‰), и морские виды здесь, как правило, не встречаются. В литовской части залива обнаружено 54 вида круглоротых и рыб, в российской – 43 вида. Большая часть пресноводных видов рыб залива выходит на нагул в прибрежную часть Балтийского моря, проявляя себя как полупроходные виды.

Биологическое разнообразие ихтиофауны расширяется за счет гибридов: леща и густеры, сырты и ельца, плотвы и уклей, плотвы и красноперки.

Периодически в уловах встречаются пелядь, белый и пестрый толстолобики, а также осетровые, видовая принадлежность которых достоверно не определена. Эти виды (у осетровых, возможно, гибриды), являющиеся объектами аквакультуры, попадают в залив из рыбоводных хозяйств через реки бассейна [51, 106, 107, 114].

В заливе можно выделить четыре экологические группы промысловых видов рыб [72, 93, 96]:

- проходные: минога речная, минога морская, балтийский осетр, финта, лосось, кумжа, сиг, корюшка, рыбец, угорь;

- общепресноводные: снеток, щука, лещ, укляя, жерех, густера, карась серебряный, карась золотой, сазан, язь, плотва, красноперка, линь, сом, налим, ерш, окунь, судак;

- морские: шпрот, треска, колюшка трехиглая, камбала речная;

- речные: голавль, подуст, усач.

По-прежнему в заливе не отмечается появление балтийского осетра, стерляди, синца [55, 97, 98]. В связи с осолонением северной части залива обычными видами здесь стали камбала речная, салака, треска. Ранее не встречавшийся в заливе серебряный карась, в настоящее время стал одним из основных промысловых видов рыб в прибрежной части залива. Достаточно

редкий в 70-80 гг., жерех сегодня является важным объектом промысла. Значительно возросла численность финты. Промысловое значение многих ценных видов рыб, таких как сиг, рыбец, угорь в 70-90 гг., наоборот, резко снизилось [100, 101].

Широкое видовое разнообразие ихтиофауны залива определяет его рыбохозяйственную ценность, создает хорошие возможности для эффективного ведения промысла в различные сезоны года.

2.4 Рыболовство на Куршском заливе

Куршский залив является одним из самых высокопродуктивных водоемов. Со второй половины 20-х гг. и по текущий период вылов рыбы в Куршском заливе претерпевал значительные колебания, как в количественном, так и в качественном выражении [55, 74, 76, 114]. Среднегодовое значение вылова в предвоенные годы составило 8,2 тыс. т., при среднем значении рыбопродуктивности 53,7 кг/га. Максимальный вылов в этот период 14,3 тыс. т. Основными объектами промысла составлявшим 82,9% от вылова являлись снеток, ерш и корюшка. Состав промысловой ихтиофауны в те годы представлен в основном малоценными видами рыб и характеризуется как снетково-ершовый.

В период второй мировой войны статистика промысла отсутствует.

Впервые послевоенные годы вылов в Куршском заливе рос очень медленно. Так, в 1947 г. было добыто всего 2,9 тыс. т, рыбопродуктивность составила 17,7 кг/га. В период с 1950 по 1956 г., за счет широкого использования таких орудий добычи как ставные сети, ставные и закидные невода, трапелы и ловушки интенсивность промысла значительно возросла, что обусловило на начальном этапе рост вылова и рыбопродуктивности водоема. Так, вылов в 1950 г. составил 3,5 тыс. т, в 1954 г увеличился до 9,5 тыс. т, затем снизился до 7,7 тыс. т в 1956 г. Максимальная рыбопродуктивность в эти годы составила 58,8 кг/га. Затем вследствие перелома последовало существенное снижение вылова до 3,2 тыс. т в 1961 г., при этом рыбопродуктивность сни-

зилась до 23,0 кг/га. В период с 1947 по 1950 г. за счет введения в промысел отцеживающих орудий лова и ограниченного регулирования интенсивности промысла существенно изменился видовой состав уловов. Так, доля леща в структуре улова увеличилась с 2,8% до 35,6%, судака с 2,0% до 12,0%. В то же время роль снетка хоть и уменьшилась в 2 раза, но оставалась значительной на уровне 20,3%. Таким образом, более 50% в структуре вылова составляли лещ и снеток.

Поэтапное ужесточение правил рыболовства в период с 1961 по 1990 г. позволило стабилизировать годовой вылов в Куршском заливе на уровне 5,2-5,4 тыс. т. Видовой состав уловов в этот период стал более равномерным и удельный вес основных промысловых видов, таких как лещ, плотва, снеток и ерш находился в пределах 16-25%.

После распада СССР и преобразованиях в экономиках России и Литвы, начиная с 1991 г., отмечалось существенное снижение вылова. В 1994 г. вылов сократился до 2,1 тыс. т, при этом рыбопродуктивность составила 12,7 кг/га. Вследствие предпринятых Россией и Литвой совместных усилий по разработке и реализации мероприятий по улучшению управления рыболовством в Куршском заливе, с 1997 г. наблюдалось постепенное увеличение вылова. В настоящее время вылов в Российской части Куршского залива находится на уровне 2,4-2,6 тыс. т. Также отмечаются изменения в структуре промысловой ихтиофауны, доминирующие позиции в которой занимают лещ и плотва, доля снетка в последнее время резко упала до 0,6%.

2.5 Роль сига в Куршском заливе и характер его промыслового использования

На протяжении длительного времени сиг являлся ценным и достаточно важным компонентом промысловой ихтиофауны Куршского залива. Перед Второй мировой войной его уловы колебались в пределах 30-60 т, и максимум 100,2 т был достигнут в 1934 г. [76]. В период войны сведения об уловах отсутствуют. Промысел был возобновлен в 1948 г. после чего вылов начал

быстро расти, и достиг максимума 60,5 т в 1955 г. Очевидно, это было связано с высокой интенсивностью промысла в целом на Куршском заливе. В последующем вследствие введения более жестких мер регулирования рыболовства интенсивность лова снизилась и соответственно уловы сига снизились до 20-30 т. На этом уровне с небольшими колебаниями они держались приблизительно 20 лет.

С начала 80-х гг. произошло падение уловов сига (Рисунок 4), так, в 50-е гг. - 38 т, в 60-е гг. – 27 т, в 70-е гг. – 21 т, в 80-е гг. – 11 т, в 90-е гг. – 4 т, в 2000-х гг. – менее 1 т. [76, 113, 114]. Снижение уловов в первую очередь связано с эвтрофикацией залива и заилением естественных нерестилищ, сокращением их площади [8, 77, 78, 79, 80]. В 1985 г. был введен мораторий на специализированный лов сига в заливе, однако данная мера не оказала существенного влияния на численность его популяции. Также сиг был внесен в приложение №2 Красной книги РФ (2001), как нуждающийся в особом внимании.

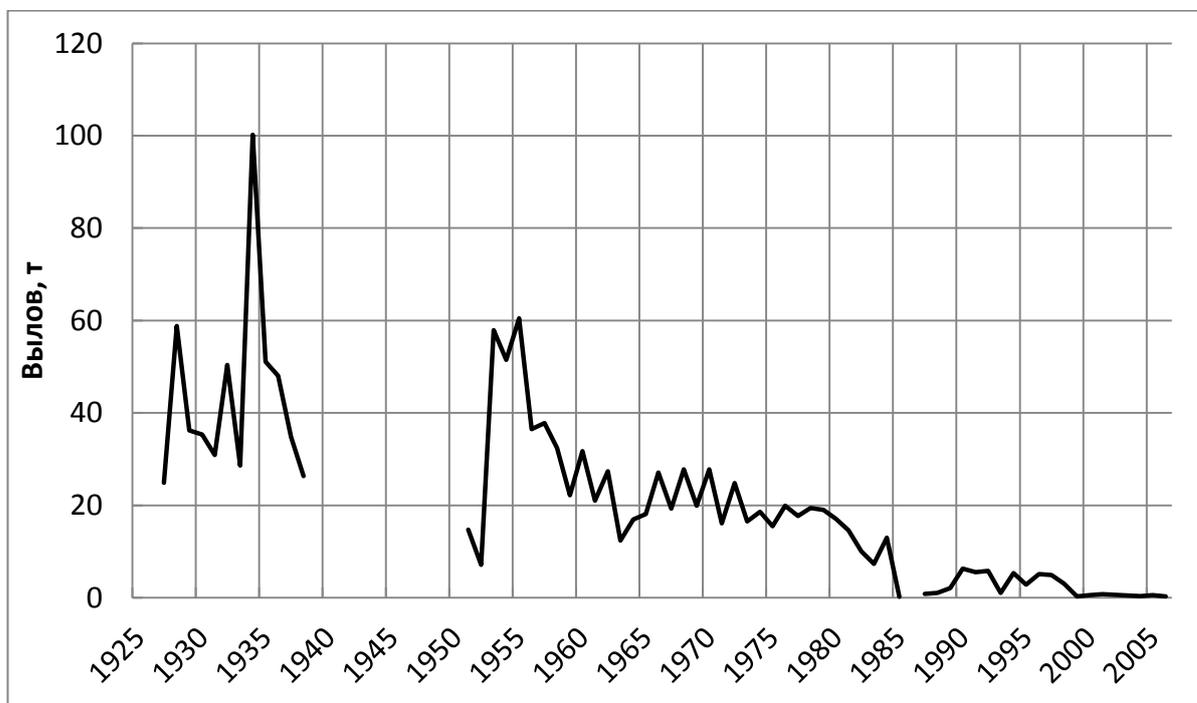


Рисунок 4 – Многолетняя динамика вылова сига в Куршском заливе

Были высказаны предположения о возможном отрицательном влиянии на воспроизводство сига дноуглубительных работ в Клайпедском проливе

[66]. Однако анализ литературы свидетельствует о том, что тенденция к снижению запасов сига с конца 1970-х гг. характерна для большинства водоемов бассейна Балтийского моря [133, 139, 140, 141, 144, 147, 152, 153].

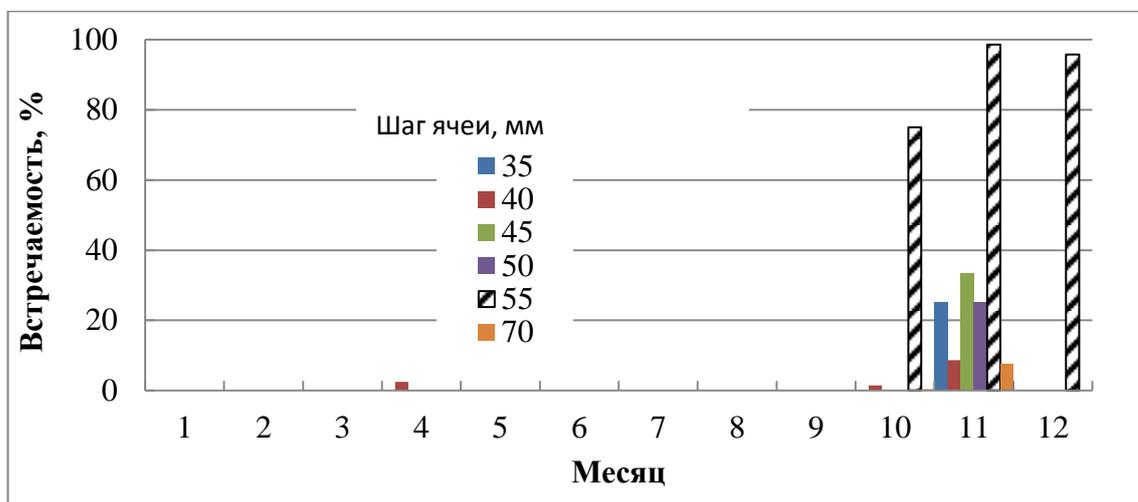
Куршский залив не является местом постоянного обитания сига. Половозрелый сиг присутствует только в период нереста. Многолетние наблюдения 1970-1990 гг. показали, что в промысловых уловах ставными сетями частота встречаемости сига оказывается максимальной в ноябре-декабре, причем наибольшая встречаемость характерна для сети с шагом ячеи 55 мм, которая являлась специализированным орудием лова для сига. В этих орудиях лова частота встречаемости достигала 98,6% (Таблица 4). В октябре встречаемость сига существенно ниже, в другие месяцы случаи поимки половозрелого сига не зафиксированы. В период максимальной встречаемости наблюдались и максимальные уловы на единицу промыслового усилия, которые достигали 4,54 кг/сетесутки (Рисунок 5).

Таблица 4 – Характеристика промыслового использования сига Куршского залива (1970-1990, 2288 обловов)

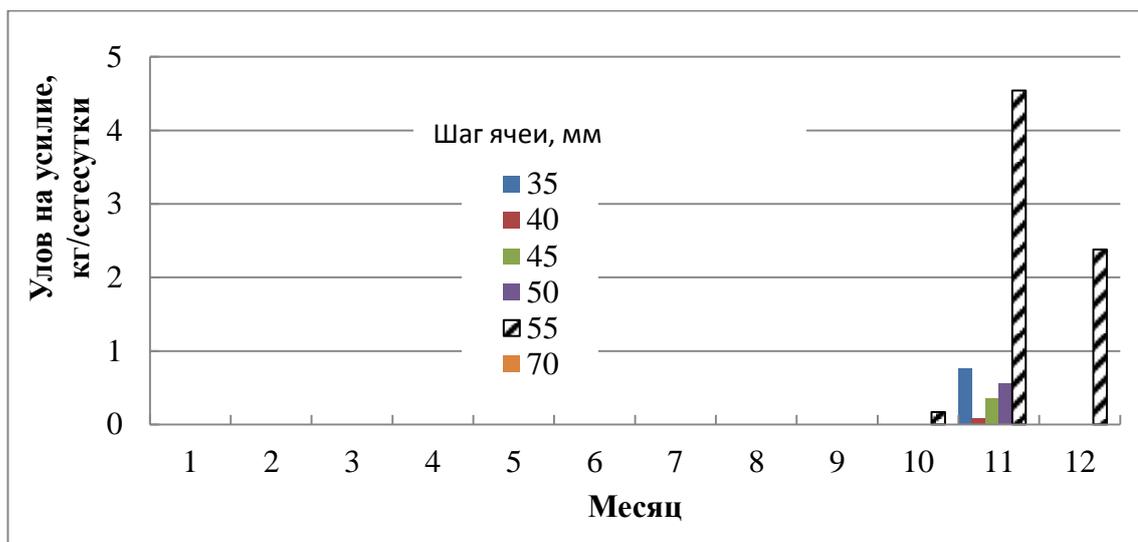
Месяц	Частота встречаемости, %						Улов на усилие, кг/сетесутки					
	Шаг ячеи, мм						Шаг ячеи, мм					
	35	40	45	50	55	70	35	40	45	50	55	70
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	2.5	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	1.5	-	-	75.0	0.4	-	0.00	-	-	0.17	0.00
11	25.0	8.7	33.3	25.0	98.6	7.7	0.77	0.09	0.36	0.56	4.54	0.00
12	-	-	-	-	95.8	-	-	-	-	-	2.38	-

С целью изучения пространственного распределения сига в Куршском заливе нами были использованы данные мониторинга промысла, проводившегося ФГУ «Запбалтрыбвод» с 1979 по 2000 г. во время нереста сига. Веду-

ние базы данных и их анализ осуществлялись с использованием информационно-аналитической системы «Рыбвод», разработанной КГТУ [120, 122, 123]. В качестве показателя пространственного распределения сига использовалась частота встречаемости, которая наносилась на карту промысловых квадратов (Рисунок 6).



а) частота встречаемости



б) улов на усилие

Рисунок 5 – Характеристика промысловых уловов сига в Куршском заливе

Как оказалось, наибольшая частота встречаемости отмечена для промысловых квадратов 34, 79, 80 и 81. Ниже будет показано, что эти места являются естественными нерестилищами сига в Куршском заливе.

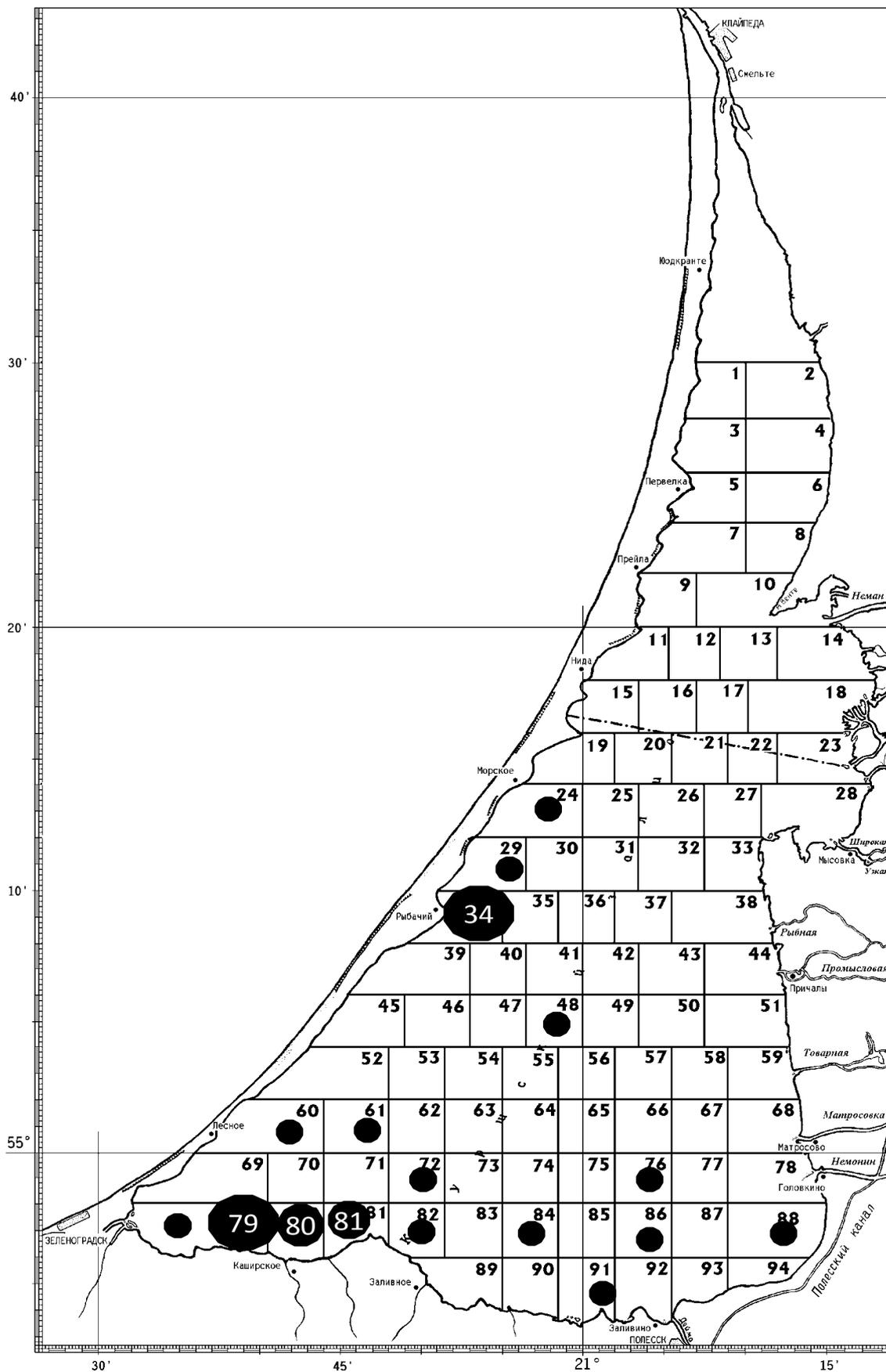


Рисунок 6 – Пространственное распределение встречаемости сига в промысловых уловах (размер круга пропорционален количеству поимок)

3 ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИГА

3.1 Систематическое положение сига Куршского залива

В настоящей работе принимается систематическое положение сига Куршского залива как *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) [90, 91], хотя имеются мнения о том, что в бассейне Балтийского моря обитает сиг *Coregonus maraena* (Bloch, 1779) [135, 137, 138]. Последний вид занесен в перечень видов находящихся под угрозой исчезновения [134].

Современная систематика сига может быть представлена следующим образом:

Тип *Chordate* - хордовые

Подтип *Vertebrata* - позвоночные

Надкласс *Gnatostomata* - челюстноротые

Класс *Actinopterygii* - лучеперые

Подкласс *Neopterygii* - новоперые

Отдел *Teleostei* - костистые

Отряд *Salmoniformes* - лососеобразные

Семейство *Coregonidae*- сиговые

Вид *Coregonus Lavaretus* (Linnaeus, 1758) – сиг

Главные (наружные) признаки этого семейства:

1) наличие крупной чешуи (в боковой линии насчитывается менее 120 чешуи);

2) наличие жирового плавника, между спинным и хвостовым плавниками;

3) на верхнечелюстной кости имеется добавочная косточка. Помимо этого, сиговые (как и все лососевые) нерестятся в пресной воде.

Сиг – весьма полиморфный вид, поэтому для него трудно выделить характерные признаки вида. Он относится к группе сиговых с нижним ртом, хотя положение рта может меняться от типично нижнего до почти конечного.

Часто имеется хорошо выраженная рыльная площадка, высота которой меньше ее ширины. Тело удлиненное и слегка уплощенное с боков.

Окраска обычная для сиговых рыб: серебристое тело с темной спинкой, плавники могут быть темными, иногда даже черными. Брачный наряд в виде эпителиальных бугорков ярче проявляется у самцов.

Плавниковая формула: D III-V 9-13, A III-IV 9-14, P I 14-15, V II 10-11. Число жаберных тычинок колеблется от 15 до 64. Число чешуй в боковой линии 69-109, пилорических придатков около 100, позвонков 58-65.

В черепе сига отмечается соединение (соприкосновение) теменных костей над верхнезатылочной костью, что также является отличительным признаком семейства сиговых.

Сиг населяет водоемы Англии, Швеции, Финляндии, Норвегии, Дании, России и другие. На территории бывшего СССР обитает почти во всех водоемах бассейна Северного Ледовитого океана от Белого и Баренцева морей до Чукотки. В море далеко не уходит и придерживается опресненных участков. Сиг часто встречается в восточной части Баренцева моря и особенно у островов Карского моря, на Новосибирских островах зарегистрированы лишь единичные заходы сига. В Балтийском море встречается в Рижском, Финском и Ботническом заливах. На американском континенте сиг отмечен в водах Аляски и Канады, близкая форма сига *Coregonus clupeaformis* обитает во многих водах Северной Америки.

В водоемах Калининградской области сиг представлен двумя формами: пресноводной жилой, обитающей в оз. Виштынецком и проходной обитающей в Балтийском море и заходящей в Куршский залив на нерест [6].

Сиг - холодолюбивая рыба, образующая в пределах ареала ряд экологических форм. Проходной сиг совершает нерестовые миграции из моря в Куршский залив в октябре - ноябре. Эта форма сига достигает в длину 70 см и массы 10 кг.

По характеру питания сиг наших водоемов - типичный бентофаг. Он потребляет главным образом мелких брюхоногих моллюсков (битиния) и ли-

чинок хирономид. В прибрежных зонах в осенне-зимний период в его рационе присутствуют ракообразные, в частности, бокоплавцы.

В настоящее время паразитологическая ситуация в Куршском заливе благополучна. Однако имеются паразиты, которые могут вызывать заболевания или гибель рыб при изменениях гидрологического, гидрохимического режимов или неразумного антропогенного воздействия. Для сига опасность представляют шесть видов паразитов, среди которых выделяют простейших, плоских червей, кольчатых червей и моллюсков. Определенное эпизоотическое значение имеют метацеркарии трематод рода *Diplostomum*. Проникающие и путешествующие в ткани церкарии причиняют вред коже, мышцам и органам. Из-за вторжения многочисленных церкарий возникают гематомы на коже и в мускулатуре. Во время вторжения церкарий рыбы беспокойно плавают, трутся о камни, дно и усиленно дышат. После того, как метацеркарии в рыбе успокоятся, поведение рыб снова становится незаметным [25]. Достигнув своей цели, метацеркарии некоторых видов покрываются капсулой из соединительной ткани.

Основными врагами для сига являются ерш и корюшка. Они выедают его икру и личинки, что приводит к снижению численности. Пищевыми конкурентами сига являются пелядь, ряпушка.

3.2 Экологические условия нереста сига

Сиг, являясь проходным видом большую часть времени живет и нагуливается в Балтийском море. На нерест в Куршский залив заходит в октябре-ноябре месяце и остается в заливе до весны, после чего уходит обратно в море. По данным наших наблюдений в 2013-2014 гг. половозрелый, отнерестившийся сиг встречался в уловах в Российской части залива до февраля.

Нерест сига в Куршском заливе проходит в ноябре-декабре, на чистых песчано-галечных грунтах, на глубинах порядка 1,1 - 2,3 м, при температуре воды 0,5-7°C, в вечернее и ночное время. В случае наступления ранней зимы

нерест сига может проходить подо льдом. Эмбриональное развитие икры сига продолжается до марта-апреля.

Нерестилища сига находятся на отдельных каменистых грядах, протянувшихся вдоль южного берега Куршского залива от пос. Ушаковка вдоль м. Острый до пос. Киевское. Небольшое нерестилище было обнаружено в районе банки Твердая.

Наши наблюдения проводились на двух наиболее крупных нерестилищах, расположенных на траверзе пос. Киевское «банка Киевская» и у пос. Рыбачий.

Банка Киевская находится на расстоянии 1800 м от берега, протяженность с запада на восток 1050 м, с севера на юг - 600 м. Грунт: песок, галька, валуны. Глубина составляет 1,3 – 2,3 м и зависит от уровня воды в заливе.

Второе нерестилище расположено у пос. Рыбачий расположено между берегом и свалом. Грунт: песок, галька, валуны. Протяженность с юго-запада на северо-восток 1540 м, ширина 20-80 м. Глубина: 1,1 - 2,2 м.

С целью изучения морфологии нерестилищ нами была проведена гидроакустическая съемка с использованием комплекса «Аскор», который показал эффективность при планировании мелиоративных работ [121] и составлена карта рельефа дна (Рисунок 7). Как видно нерестилища имеют различные морфологические характеристики. Так, если первое нерестилище представляет удаленную от берега возвышенность дна залива, то второе это относительно узкая полоса протянувшееся между берегом и свалом. В тоже время следует отметить примерно одинаковую глубину обоих нерестилищ.

Установлено, что на нерестилищах сига в период его нереста встречаются до 15 видов рыб, среди которых доминирующими являются ерш, плотва и окунь (Рисунок 8). При этом в мелкочейных сетях 14-20 мм доминирует ерш длиной 7-15 см, а в сетях 22-60 мм – плотва длиной 13-27 см. В сетях с ячейей 22-30 мм существенную роль играет окунь. В сетях с ячейей 50-60 мм доминирующим является сиг длиной 29-40 см.

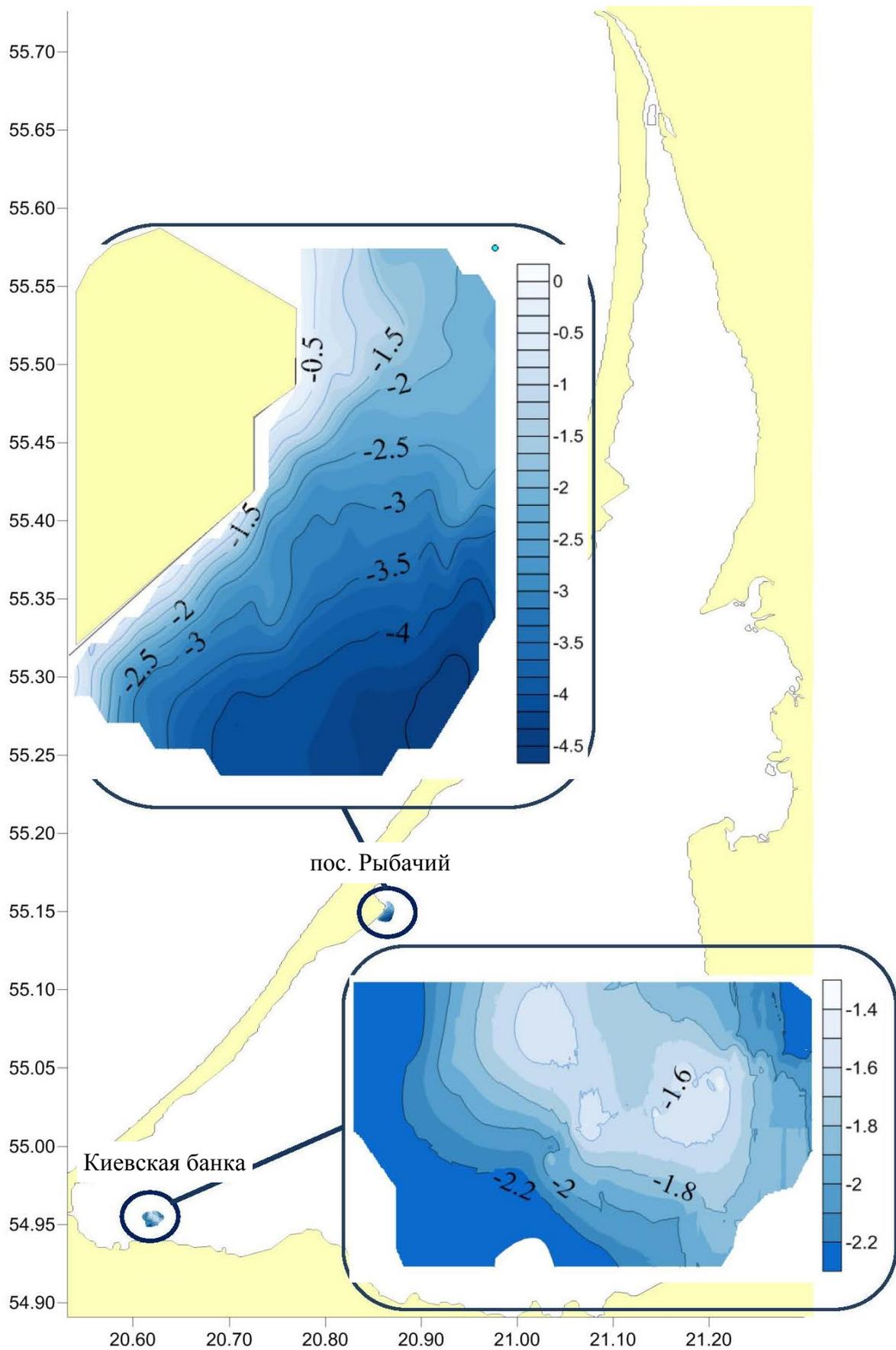


Рисунок 7 – Батиметрическая карта нерестилищ сига

Поскольку морфология нерестилища в районе пос. Рыбачий существенно отличалась от нерестилища банки Киевской, и рельеф дна не носил ярко выраженного характера, для подтверждения факта наличия нерестилища, а не пути миграции производителей сига, в данном районе в период нереста сига был проведено исследование состава пищи рыб – ерша и окуня, которые потенциально могли быть потребителями икры сига.

Установлено, что у 115 проанализированных экземпляров ерша 53% содержали в пищевом комке от 1 до 15 шт. икринок сига, среднее количество обнаруженной в желудке икры составило 5 шт. Наибольшая встречаемость икры в пище отмечалась у более мелких особей длиной 9-10 см и достигала 60-80% (Рисунок 9). Сходная картина наблюдалась у окуня, причем икра в пище отмечена у достаточно крупных особей длиной до 25 см. Это достоверно подтверждает наличие нерестилища в указанном районе.

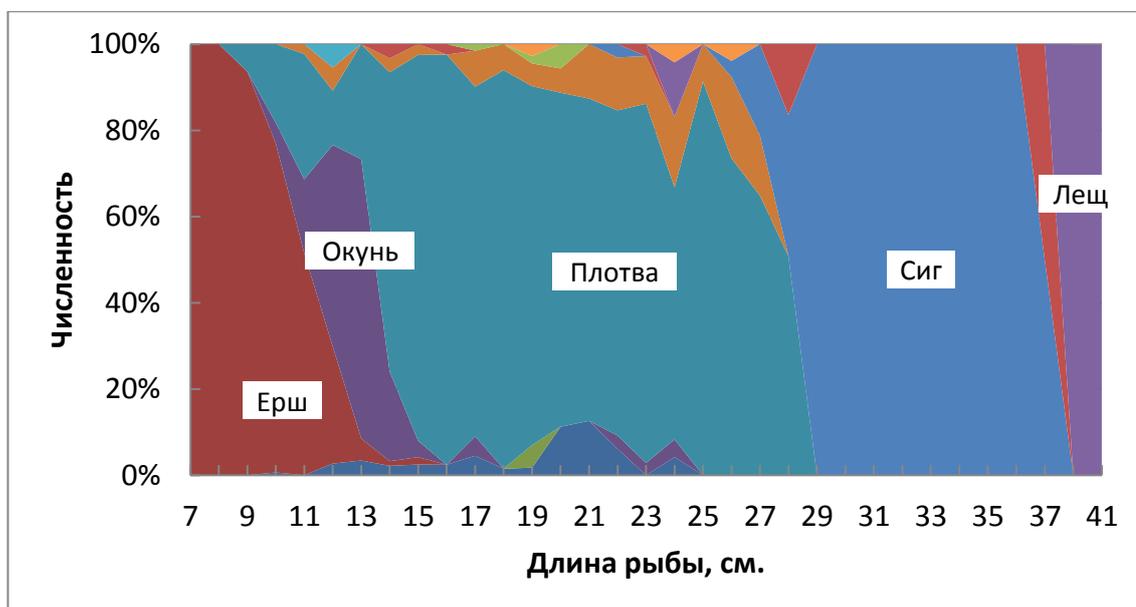


Рисунок 8 – Видовой состав уловов на нерестилищах сига

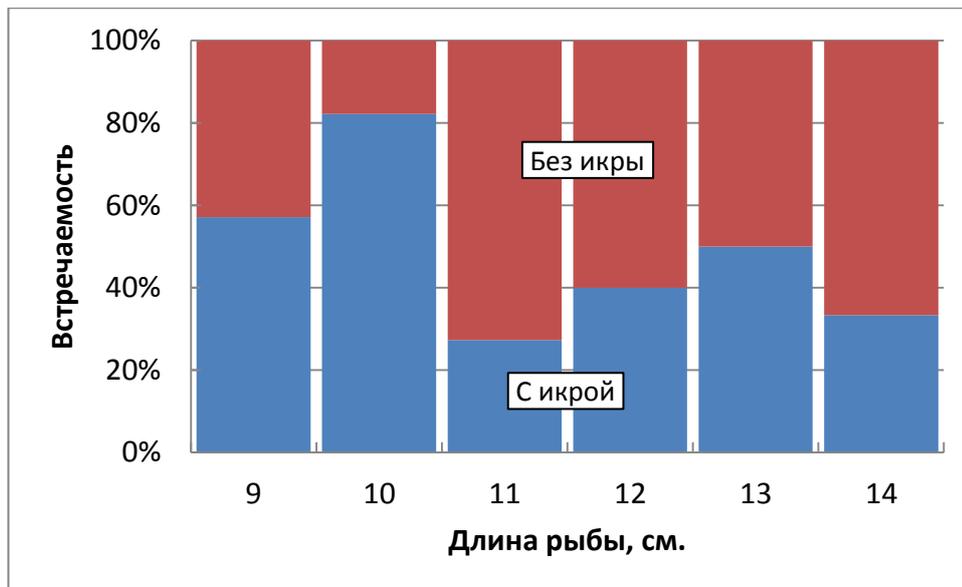


Рисунок 9 – Частота встречаемости икры сига в пищевом комке ерша на нерестилищах

3.3 Структура нерестового стада

3.3.1 Размерная структура

В Куршском заливе в осенний период присутствуют особи сига прошедшие на нерест [125]. Поэтому размеры сига в исследуемом водоеме представлены диапазоном длин от 26 до 57 см (Рисунок 10).

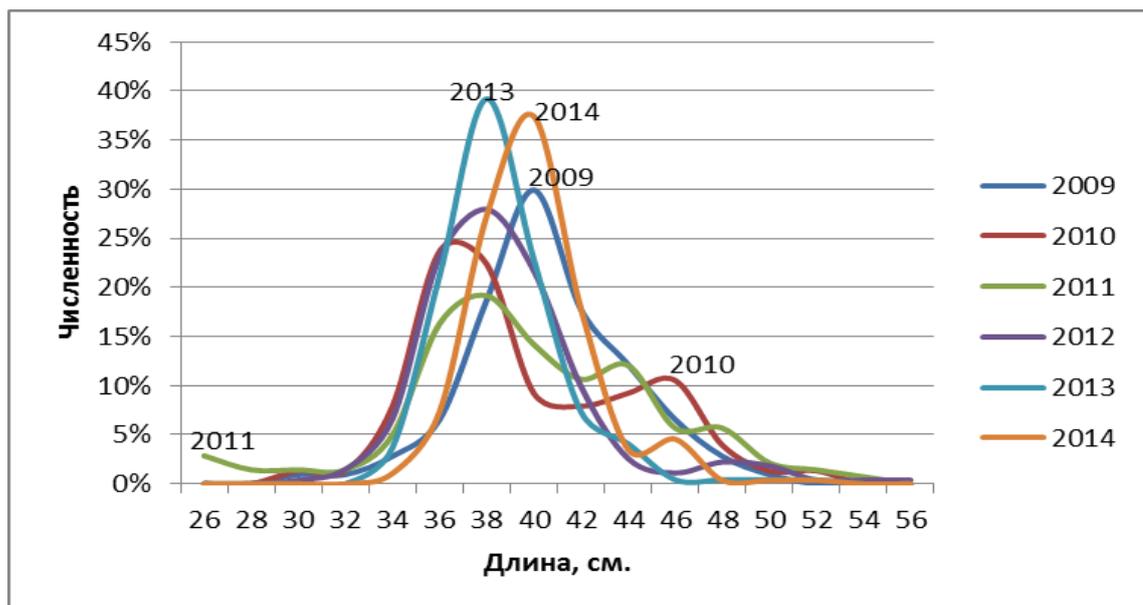


Рисунок 10 – Размерная структура нерестового стада сига Куршского залива

На рисунке видно, что в уловах преобладают особи с длинами 37-43см, доля которых в уловах составила порядка 50%. Размерные группы с 26 до 33 см и с 53 до 57 см малочисленны и их доля не превышала 0,5%. Низкая численность младших размерных групп связана с их не полным созреванием, в результате чего эти рыбы не совершают нерестовых миграций из Балтийского моря в Куршский залив. Снижение численности старших возрастных групп является закономерным и связано с естественной смертностью, так как формально специализированный лов сига в заливе запрещен. Эта структура определена ставными сетями с шагом ячеи 50-60 мм, которые улавливают не все размерные группы. Следовательно, она может отражать не структуру нерестового стада, а структуру уловов. По этому, представляет интерес оценка истинной размерной структуры нерестового стада.

С этой целью нами на нерестилищах были проведены контрольные обловы набором разноячейных сетей с шагом ячеи от 14 до 70 мм. Оказалось, что структура нерестового стада сходна с наблюдаемой в сетях, которые применяются при заготовке производителей (Рисунок 11).

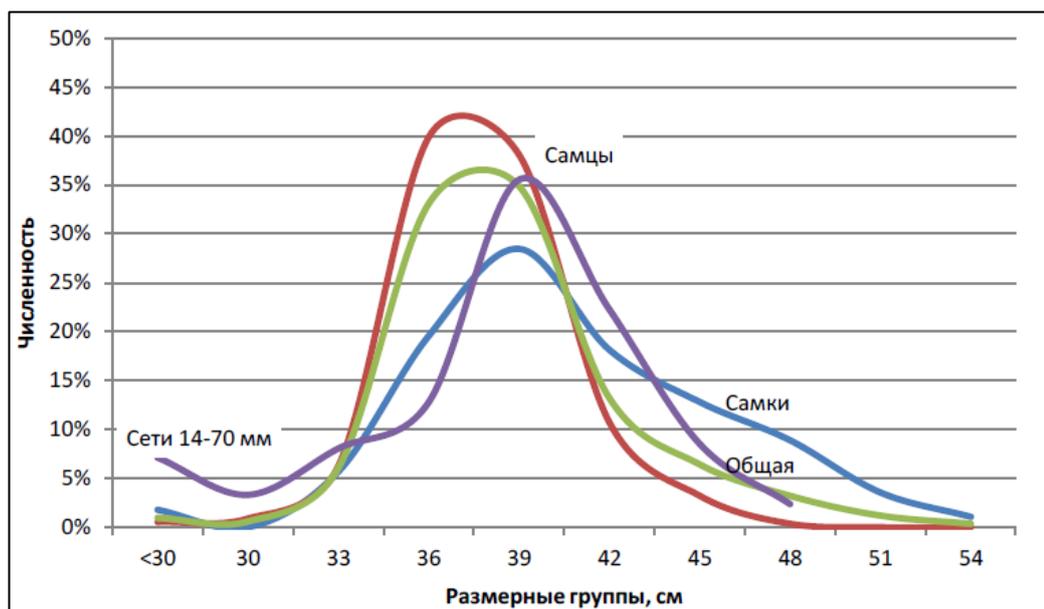


Рисунок 11 – Размерная структура нерестового стада сига в научных уловах набором сетей с шагом ячеи 14-70 мм

Отличие заключается в смещении модальной группы в сторону более крупных размеров на 3-4 см. Однако для особей длиной более 45 см, во всех случаях наблюдается снижение величины улова, что свидетельствует о низкой численности крупных рыб в нерестовом стаде. Таким образом, наши данные полученные по результатам обловов при заготовке производителей отражают истинную структуру нерестового стада сига.

Если рассматривать структуру в отдельности по годам, то можно отметить различия в преобладании той или иной размерной группы. Например, в 2009 г. наибольшую долю в улове занимала размерная группа 41-43 см, в 2010 г. - размерная группа 36-40 см, в 2011 г. - размерная группа 38-39 см, в 2012 г. - размерная группа 37-41 см, в 2013 г. - размерная группа 38-44 см, а в 2014 г. - размерная группа 40-43 см.

В связи с этим была проанализирована динамика изменения средней длины сига в сетях с шагом ячеи 50-60 мм, использованных при отлове производителей в Куршском заливе. Полученные данные представлены на рисунке (Рисунок 12).

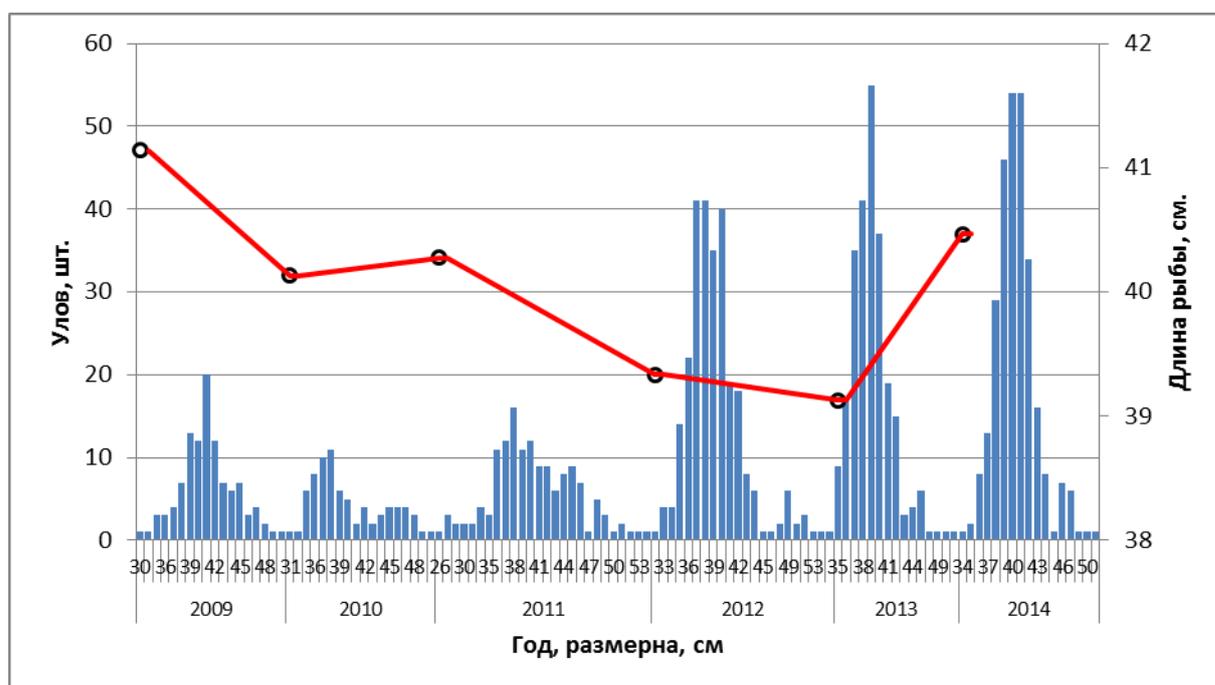


Рисунок 12 – Межгодовая динамика возрастной структуры и средней длины особи сига в нерестовом стаде

Как видно на протяжении периода исследования наблюдалась тенденция снижения средней длины в период с 2009 по 2013 г. с последующим ростом в 2014 г. Вероятно, это связано с влиянием на размерную структуру урожайных и не урожайных поколений в отдельные годы. Например, в 2012 г. наблюдалось появление высокоурожайного поколения, которое обеспечило высокую численность модальной группы около 36 см. В последующие 2013-2014 гг. мода последовательно сместилась на 2-4 см, что примерно соответствует годовому приросту особи сига.

3.3.2 Весовая структура

Важной характеристикой нерестового стада является его весовая структура, так как количество получаемой икры зависит от массы самок. Учитывая, что самцы преобладают в уловах на нерестилищах и их количество при заготовке производителей избыточно, поэтому их весовой состав не имеет особого значения. Однако, учитывая целесообразность всесторонней характеристики нерестового стада сига, ниже будет приведена весовая характеристика нерестового стада по полам (Рисунок 13).

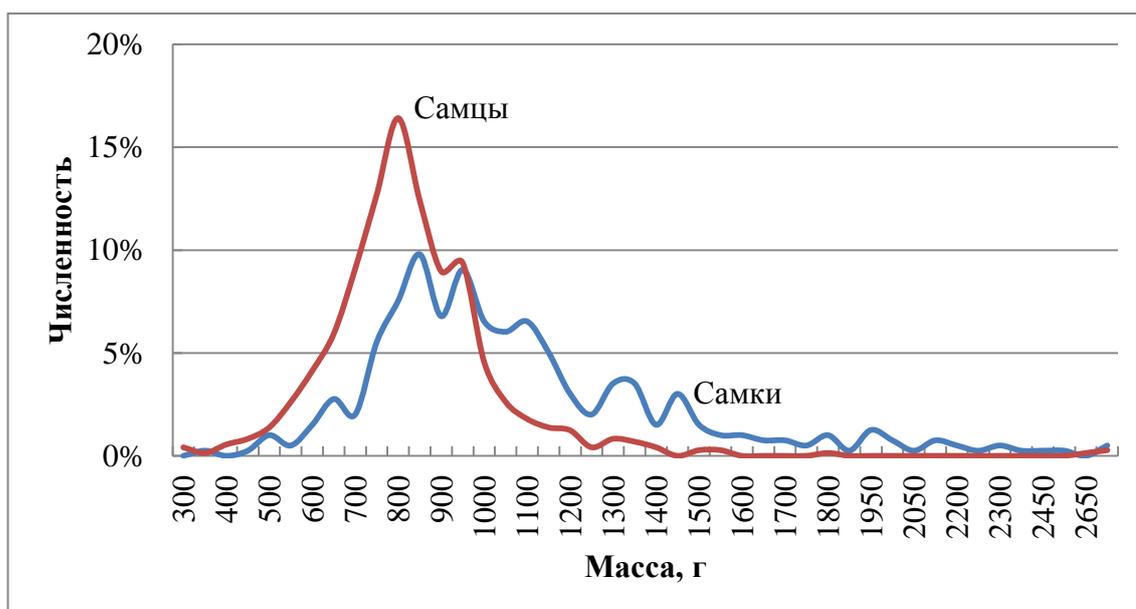


Рисунок 13 – Весовая структура нерестового стада сига

Минимальная масса самок, отмеченных в уловах, составляет 450 г самцов - 300 г, хотя минимальная масса созревших самок, у которых была взята икра, составляет 688 г. Максимальная масса для самок составляла 2600 г, для самцов - 1800 г. Наибольшее значения в улове имели самки массой 800-1100 г, которые составляли более 50% от улова самок. Более мелкие и более крупные особи имели гораздо меньшее значение.

3.3.3 Половая структура

Половая структура нерестового стада сига в среднем характеризуется соотношением самок и самцов 1:2. Вместе с тем, это соотношение подвержено значительным межгодовым колебаниям (Рисунок 14-15).

В частности, низкий процент самок отмечался в (теплые) годы, неблагоприятные для интенсивного нерестового хода сига. Такими были 2010 и 2013 гг.. В эти годы температура воды в Куршском заливе в период нереста (ноябрь, декабрь) превышала оптимальную на 2-4⁰С, и доля самок была 19-22%, то есть соотношение самки-самцы равно 1:4.

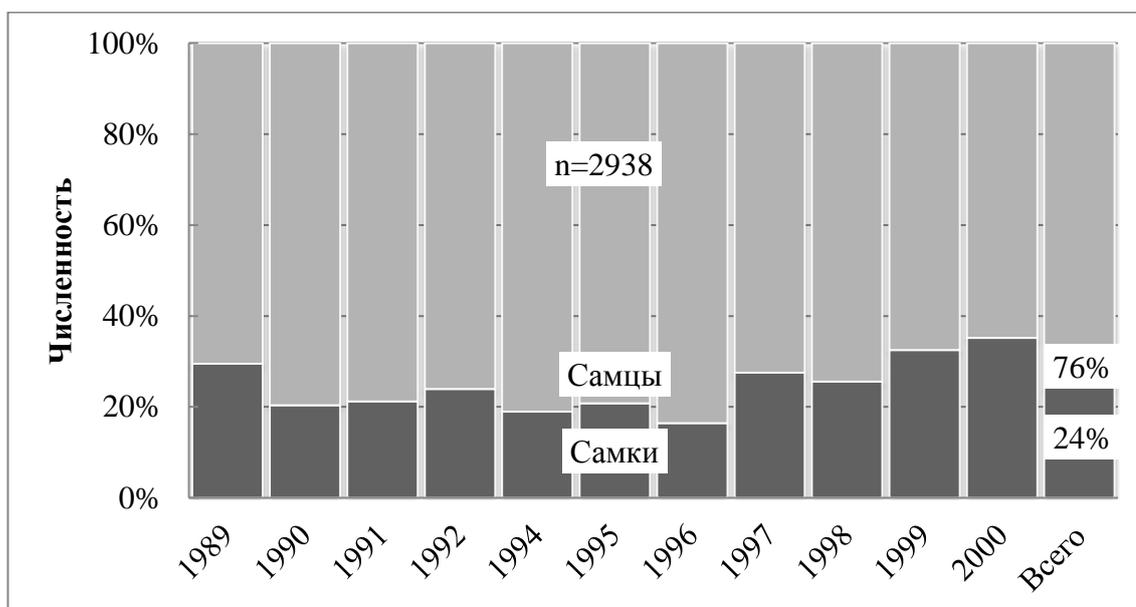


Рисунок 14 – Межгодовая динамика половой структуры нерестового стада сига Куршского залива (по данным промысловых уловов)

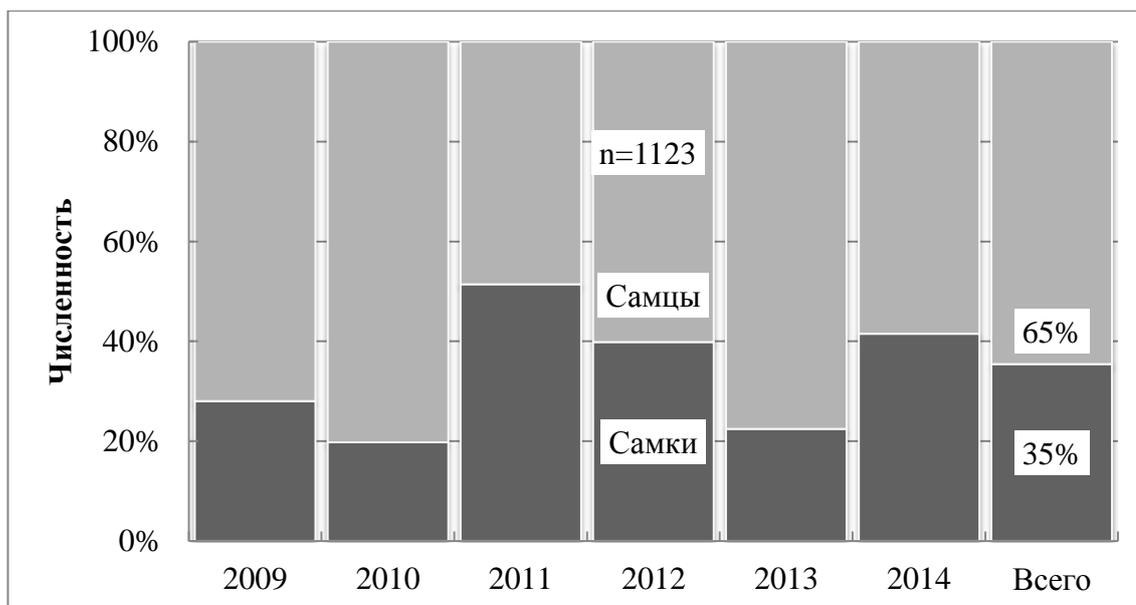


Рисунок 15 – Межгодовая динамика половой структуры нерестового стада сига Куршского залива (по данным уловов при заготовке производителей)

Наиболее благоприятным для нереста был 2011 и 2014 гг. Для них характерно плавное понижение температуры воды во время нереста до оптимальных 4-5°C. При этом наблюдался наиболее интенсивный нерестовый ход сига и наиболее высокий процент самок - 50%, то есть соотношение 1:1. 2009 и 2012 гг. по температуре воды во время нереста занимают промежуточное значение. Такие значительные колебания в соотношении численности самок и самцов можно объяснить поведением сига во время нереста. Самцы созревают и становятся «текучими» раньше, чем самки. Они первыми приходят на нерестилище и находятся на нем во время всего периода нереста, участвуя в оплодотворении икры многократно. Соответственно, вероятность быть пойманными в сети установленными на нерестилище у них гораздо выше, чем у самок. Самки приходят на нерестилище по мере созревания икры. Они находятся на нерестилище ограниченное время, необходимое для выметывания икры, а затем сразу покидают нерестилище. Соответственно вероятность быть пойманными у них значительно ниже, чем у самцов. В особо неблагоприятные для нереста (теплые) годы, часть самок вообще не созревают и на

нерестилище не приходят. Таким образом, оценка половой структуры нерестовой стада сига по результатам отлова производителей, во-первых, не дает реальной картины соотношения численности самок и самцов, а во-вторых позволяет судить об условиях нереста в конкретном году.

Соотношение самок и самцов по мере роста рыбы не остается постоянным, а изменяется в соответствии с общими биологическими закономерностями (Рисунок 16). Доля самок в младших возрастных группах 5-6 лет составляет 10-25%. Это связано с тем, что самцы созревают раньше самок и первыми идут на нерест. В дальнейшем доля самок постепенно возрастает, достигая 100% для рыб старше девяти лет (Рисунок 17).

Данное явление можно связать с тем, что самки созревают позднее самцов, и продолжительность жизни их дольше.

При отлове производителей в 2009-2014 гг. были отмечены существенные изменения межгодовой динамики размерно-половой структуры нерестового стада сига (Рисунок 18).

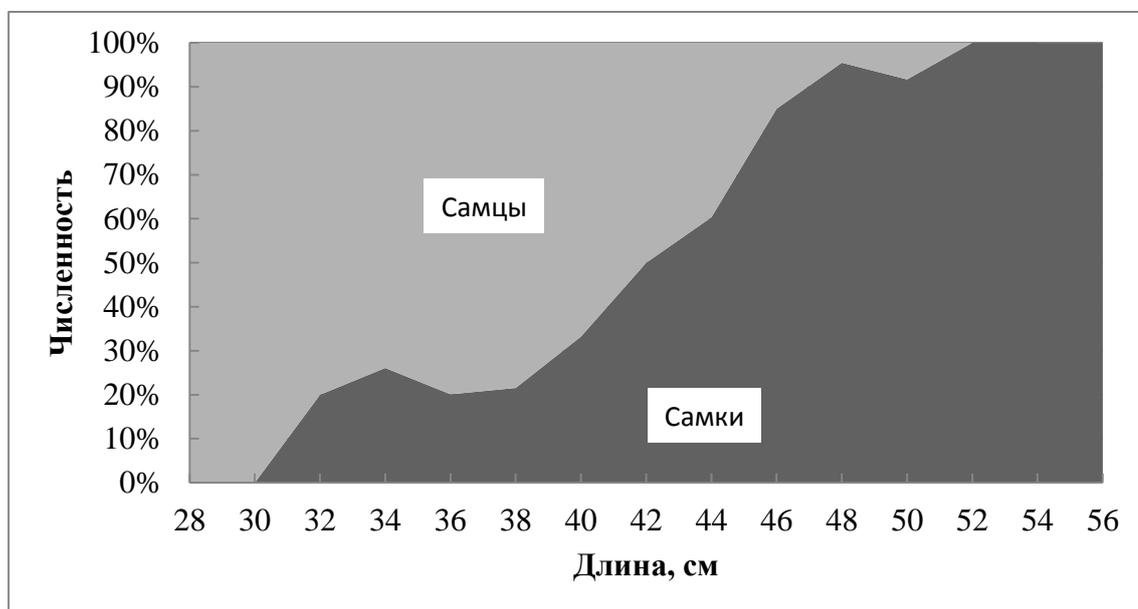


Рисунок 16 – Размерно-половая структура нерестового стада сига в Куршском заливе (2009-2014)

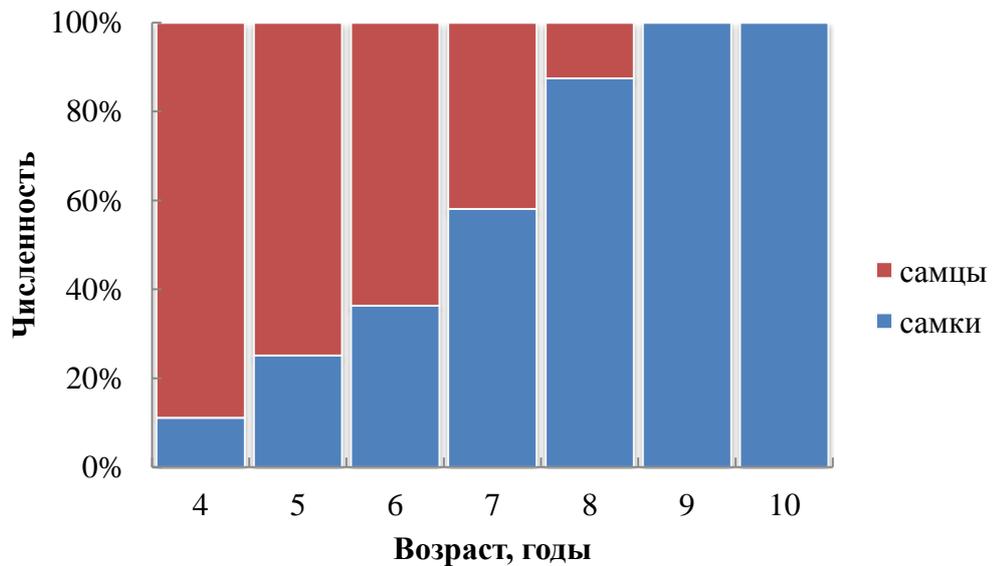


Рисунок 17 – Соотношение полов нерестового стада сига в зависимости от возраста

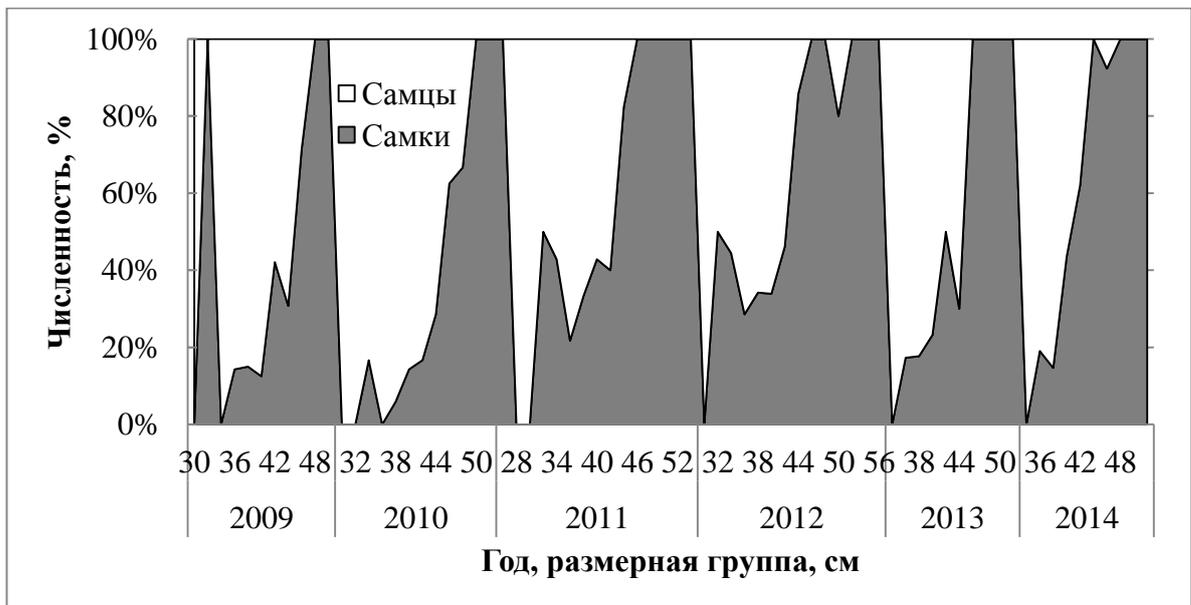


Рисунок 18 – Межгодовая динамика размерно-половой структуры нерестового стада сига в Куршском заливе

3.3.4 Возрастная структура

В нерестовом стаде сиг представлен особями возрастом то 4 до 10 лет (Рисунок 19), возрастная структура определяется сочетанием двух факторов – темпом наступления половой зрелости и скоростью убыли особей – смертностью. Созревание наступает в возрасте четырех лет, и доля составля-

ет всего 1,65%, затем доля созревших особей возрастает и достигает максимума к шести годам. Учитывая, что в естественной популяции возрастная структура описывается нисходящей кривой выживания можно предположить, что в шесть лет все особи становятся половозрелыми. В дальнейшем происходит снижение численности возрастных групп, в связи с естественной и, вероятно, промысловой смертностью т.к. в Литовской республике отсутствует мораторий на специализированный лов сига.

Возрастная структура у самцов несколько отличается от таковой у самок. Это связано с более ранним созреванием самцов и их меньшей продолжительностью жизни (Рисунок 20).

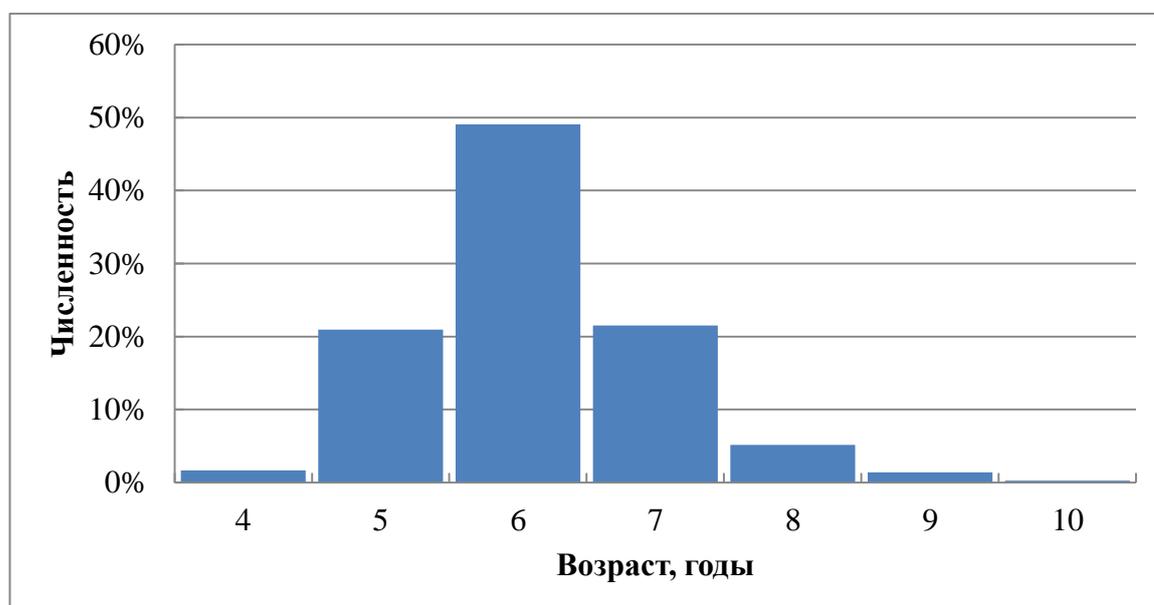


Рисунок 19 – Возрастная структура нерестового стада сига

Аналогично особенностям, отмеченным для размерной структуры, возрастная структура также не постоянна в межгодовом аспекте. Если за наблюдаемый период возрастная структура представлена семью возрастными группами, то в отдельные годы количество их сокращалась до четырех, в частности в 2014 г. (Рисунок 21).

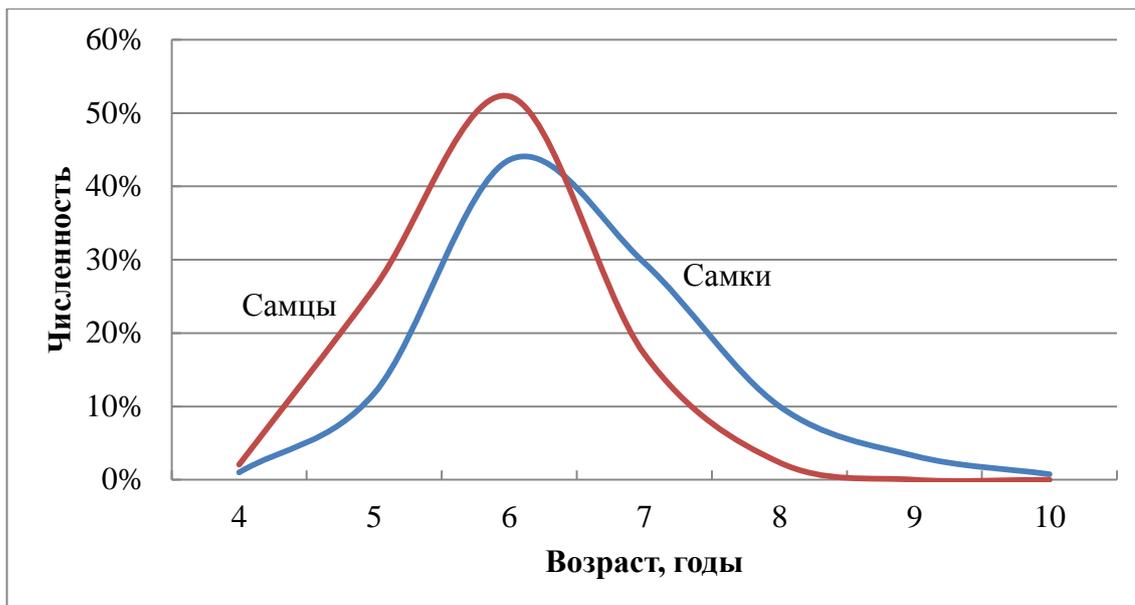


Рисунок 20 – Возрастная структура самок и самцов



Рисунок 21 – Межгодовая динамика возрастной структуры

3.3.5 Плодовитость

Исследованию плодовитости сига посвящено достаточно много работ. Авторы отмечают, что для сига абсолютная индивидуальная плодовитость (АИП) может колебаться в достаточно широких пределах в зависимости от

длины, массы и возраста особи. Для разных популяций пределы колебания абсолютной индивидуальной плодовитости могут быть от 6 до 100 тыс. икринок. Относительная плодовитость указывается 30-45 икринок на 1 грамм веса самки [16, 20, 43, 53, 87, 91, 139, 143, 147]. Вместе с тем, следует учитывать, что эти данные были получены путем вскрытия самок просчета икры содержащейся в гонадах. С точки зрения отработки технологии искусственного воспроизводства эти данные имеют относительную ценность. Рабочая плодовитость – количество икры, которое может быть получена от самки в производственных условиях, оказывается существенно меньше.

Установлено, что между рабочей плодовитостью (F) и массой рыбы (W) существует прямая связь вида $F=0,0314W-12,081$ с коэффициентом корреляции $R=0,88$ (Рисунок 22).

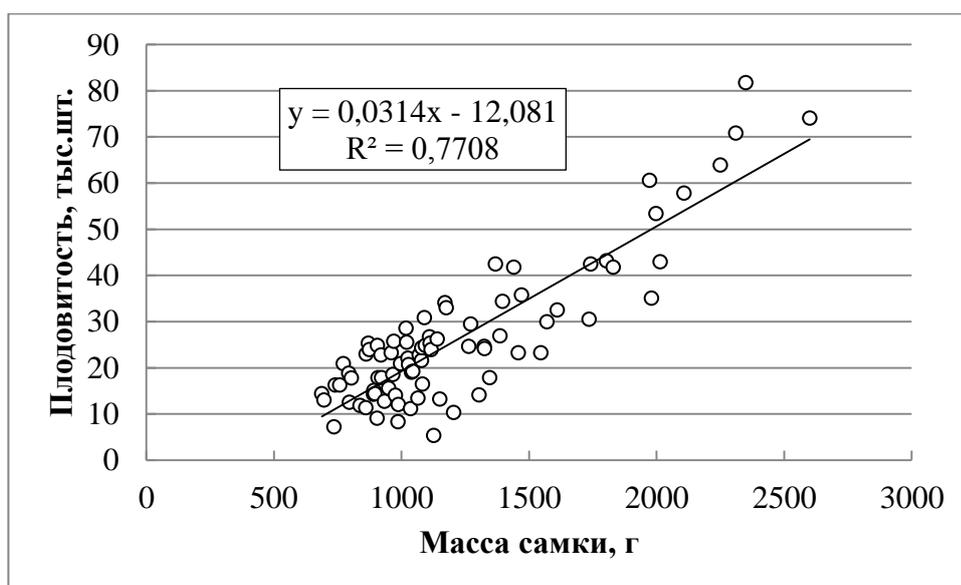


Рисунок 22 – Зависимость рабочей плодовитости от массы самки сига

Рабочая плодовитость изменяется в пределах от 5 до 71 тыс. шт. Расчет относительной плодовитости и ее регрессионный анализ (Рисунок 23) показал, что данный параметр подвержен сильным колебаниям и практически не зависит от массы самки. Коэффициент корреляции составил всего $R=0,3$. Относительная рабочая плодовитость составляет $20,9 \pm 1,3$ шт/г.

Данные уравнения могут быть использованы для расчета потребного количества производителей.

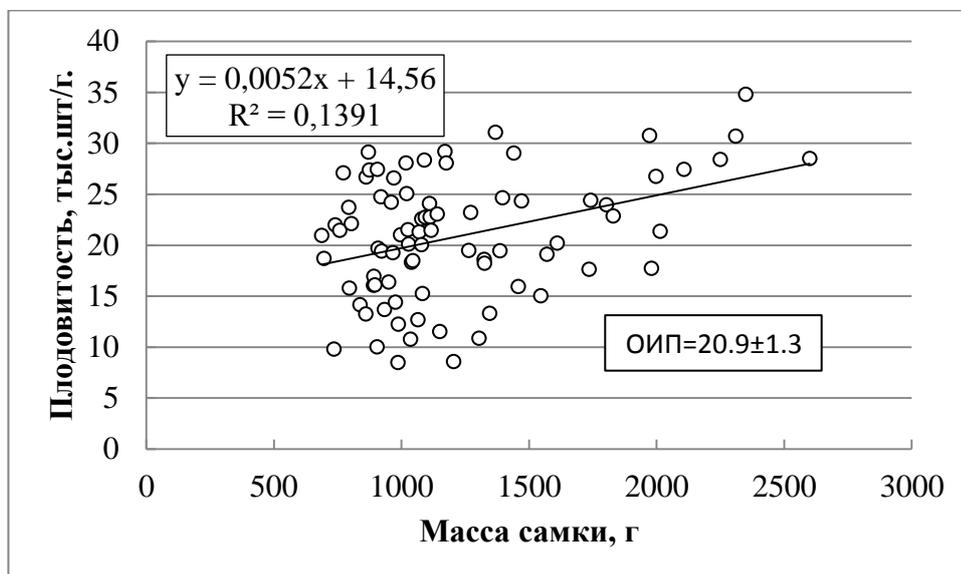


Рисунок 23 – Зависимость относительной рабочей индивидуальной плодовитости от массы самки сига

3.4 Рост сига в естественных условиях

3.4.1 Размерно-весовые показатели

Размерно-весовые показатели сига в уловах 2009-2014 гг. представлены в таблице (Таблица 5). В исследованный период встречались особи длиной от 29,5 до 57 см, весом от 336 до 2600 г, возрастом от 4 до 10 лет. Размерно-весовые показатели самок несколько отличается от самцов. В возрасте 4 лет средняя длина самки составляет 34,9 см, средний вес - 718 г, средняя длина самца - 32,9 см, средний вес - 544 г. В дальнейшем по мере роста такая тенденция сохраняется, так в возрасте 8 лет средняя длина самки составляет 47,8 см, средний вес - 1618 г, средняя длина самца - 45,4 см, средний вес - 1292 г. Старше 8 лет самцы не встречались, а самки достигали возраста 10 лет при средней длине 52,2 см и среднем весе 1927 г. Таким образом, по размерно-весовым показателям самки несколько превосходят самцов (Рисунок 24).

Таблица 5 – Размерно-весовые показатели сига (наблюденные данные)

Возраст	Длина, см			Масса, г			Количество
	x	a	std	W	a	std	
Самки							
4	34,0	0,00	0,00	962	0	0	1
5	36,7	0,42	1,48	787	26	94	49
6	40,3	0,29	2,07	967	30	212	197
7	43,9	0,46	2,68	1194	45	263	131
8	48,9	0,76	2,27	1687	119	353	34
9	51,6	0,85	1,44	1926	201	340	11
10	57,0	0,00	0,00	2498	0	0	1
Самцы							
4	31,1	0,80	1,16	478	111	161	8
5	36,8	0,20	1,29	733	18	114	154
6	39,6	0,15	1,41	868	15	136	331
7	42,0	0,41	2,03	1059	51	251	92
8	47,7	2,58	2,94	1399	96	110	5
Оба пола							
4	31,5	0,94	1,45	532	140	215	9
5	36,8	0,19	1,40	748	16	119	211
6	39,9	0,16	1,90	903	15	174	526
7	43,1	0,34	2,63	1142	35	270	227
8	48,7	0,79	2,55	1661	111	358	40
9	49,4	2,71	4,78	1771	248	439	12
10	57,0	0,00	0,00	2498	0		1
Обозначения: x- средняя; a- доверительный интервал (P=0,95); std- стандартное отклонение							

В целом, рост происходит по закону, близкому к линейному без обычного для рыб заметного замедления приростов в старших возрастах. Данное обстоятельство очевидно связано с коротким возрастным рядом, который подвергался исследованиям. Поэтому можно считать, что представленные данные в целом характеризуют не собственно линейный или весовой рост, а лишь размерно-возрастные показатели некоторых возрастных групп. Такая ситуация является типичной для полупроходного сига бассейна Балтийского моря [131, 142]. Заметного различия в темпе как линейного, так и весового роста самок и самцов не отмечено. Это позволяет в дальнейшем использовать одно и то же уравнение роста без разделения по полам.

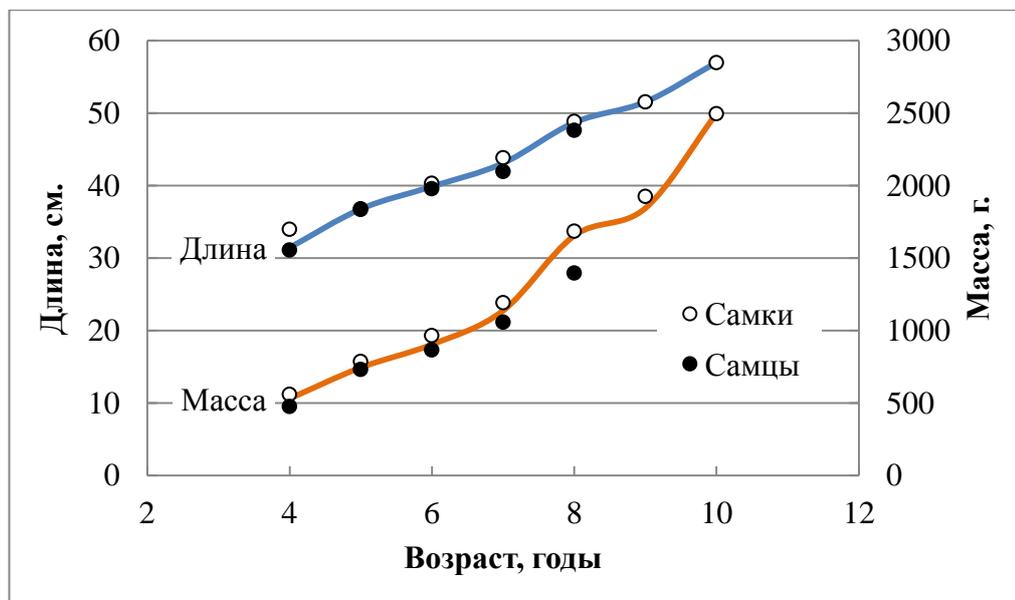


Рисунок 24 – Линейный и весовой рост сига по наблюдаемым данным

3.4.2 Зависимость «длина-масса»

Важной характеристикой вида являются параметры зависимости массы тела рыбы от ее длины. Для исследованного объекта был проведен регрессионный анализ разделено по полам и в целом для обоих полов. Данная связь описывается обычным степенным уравнением с коэффициентом корреляции от 0,87 до 0,90 (Рисунок 25):

$$W = w_0 L^{w_1} . \quad (1)$$

Получены следующие значения степенного коэффициента: для самок $w_1 = 2,2566$, для самцов $w_1 = 2,6871$, для обоих полов $w_1 = 2,6263$.

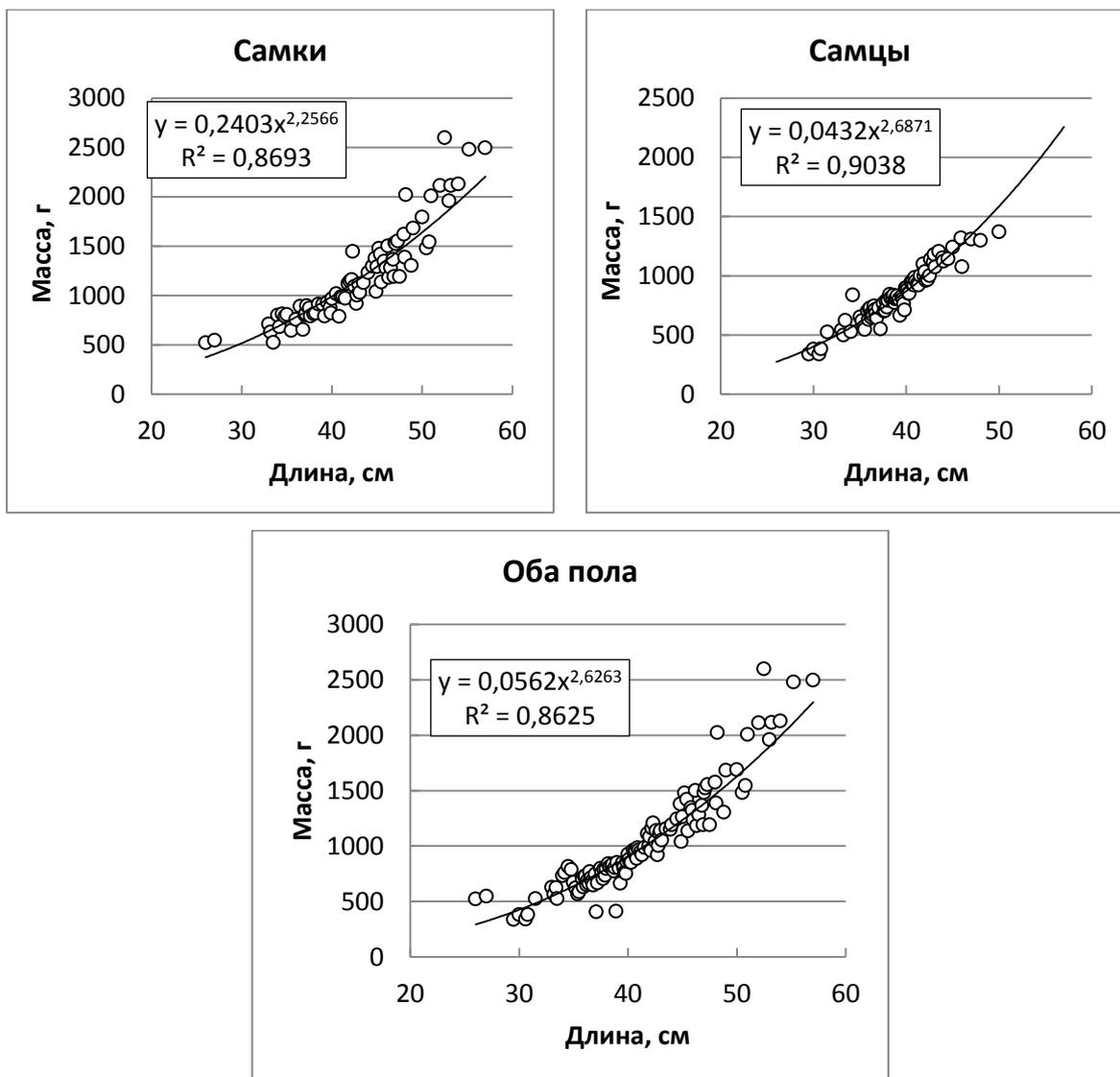


Рисунок 25 – Зависимость «длина-масса» сига (наблюденные данные)

Обращает на себя внимание то, что степенной коэффициент оказывается существенно меньше величин значения равного 3,0, обычного для большинства видов рыб. По нашему мнению данное обстоятельство связано с тем, что аппроксимации подвергался размерно-весовой ряд только нерестового стада подставленного достаточно крупными особями. Следовательно, использовать данные коэффициенты для анализа связи младших возрастных групп является не правомочным. Вместе с тем, данный анализ будет необходим для обратных расчислений роста сига, который описан в последующих разделах.

С целью получения достоверных параметров значений параметров длина-масса нами были использованы два источника информации: 1) размерно-весовые показатели нерестового стада сига по наблюдаемым данным; 2) размерно-весовые показатели мальков сига полученных по результатам выращивания в искусственных условиях. Методом регрессионного анализа установлены следующие значения параметров уравнения длина-масса: $w_0 = 0,0055$ и $w_1 = 3,2479$ ($r = 0,99$) (Рисунок 26).

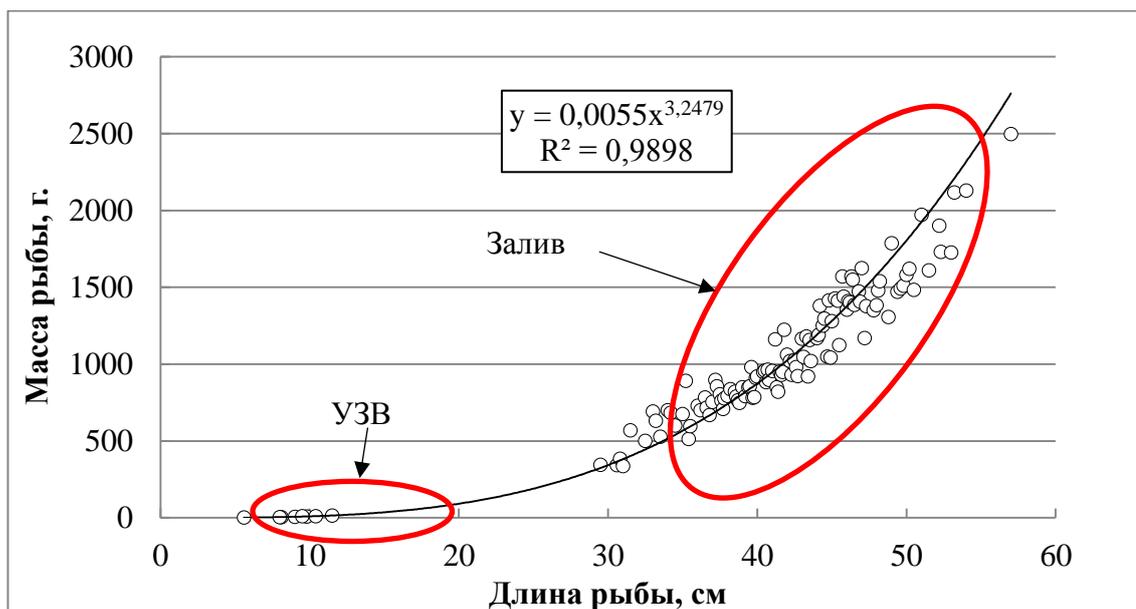


Рисунок 26 – Зависимость длина-масса по объединенным данным (пояснения в тексте)

Таким образом, эти коэффициенты отражают связь длина-масса для всего онтогенеза, что было бы невозможно при использовании только материалов контрольных обловов.

3.4.3 Обратные расчисления роста

При установлении государственного задания Экспериментальному рыбноводному цеху по искусственному воспроизводству сига, предполагалось, что выпуск будет осуществляться по достижении навески сига 2-10 г. При определении навески выпускаемой молоди исходили из того, что более круп-

ная молодь имеет более высокую выживаемость [102]. Однако, как первая, так и вторая цифры не были подкреплены никакими биологическими данными. Это связано с тем, что в Куршском заливе сиг присутствует только в течение короткого нерестового периода (ноябрь-декабрь) и представлен исключительно половозрелыми особями возрастом более 4 лет [125], составляющими нерестовое стадо. Размеры младших рыб неизвестен, как неизвестен возраст и размеры, при которых сиг покидает залив и мигрирует в Балтийского море. Имеются лишь отрывочные сведения 1960-х гг. о единичном случае поимки сеголетков в литовский части залива длиной 8,7 см. массой 7,1 г и двухлетков длиной 19,1 см [55].

В связи с этим появилась необходимость изучения индивидуального роста сига не только как его биологической характеристики, но и с целью оценки размерно-весовых показателей младших возрастных групп сига и определения оптимальной навески выпускаемой при искусственном воспроизводстве молоди.

Оценка размерно-весовых показателей младших возрастных групп (до 4 лет), которые не присутствуют в уловах, осуществлялась методом обратных расчислений по методике С.В. Шибаяева [119], суть которой заключается в следующем. Принимается, что зависимость между радиусом чешуи (R) и длиной рыбы (L) описывается линейным уравнением вида

$$R = a + bL \quad (2)$$

При наличии большого массива информации, параметры уравнения (a , b) легко находятся методом наименьших квадратов или путем построения линии тренда в Excel. Параллельно с измерением общего радиуса чешуи у каждой рыбы проводится измерение радиусов всех годовых колец. В результате уравнение (2) позволяет ретроспективно рассчитать длину, которую рыба имела в каждом возрасте.

Проблема прямого использования данного уравнения заключается в следующем. В полевых условиях невозможно взять чешую каждой рыбы точно на одном и том же участке тела (обычно под спинным плавником выше боковой линии), и оказывается, что рыбы одного и того же размера могут иметь чешую разного диаметра. Это приводит к тому, что в ряде случаев расчет по уравнению (2) длины младших рыб дает отрицательные значения, что невозможно.

Решение данной проблемы может быть следующим. Примем, что изменение радиуса чешуи проходит прямо пропорционально линейному росту рыбы, т.е. коэффициент b является некоторой константой. Тогда для каждой особи, исходя из радиуса ее чешуи, взятой для проведения обратных расчетов, определяется индивидуальная величина коэффициента a ,

$$a' = R - bL, \quad (3)$$

которая затем используется при расчете длины в возрасте t по радиусу соответствующего годового кольца R_t :

$$L_t = \frac{R_t - a'}{b} \quad (4)$$

Данный подход позволяет не только нивелировать влияние вариабельности радиуса чешуи у одноразмерных особей, но и снижает феномен Розы Ли. Заметим, что в специальных исследованиях роста сига с помощью обратных расчетов использовались другие виды зависимостей «длина-радиус чешуи», например, степенной [30, 31], однако это не имеет принципиального значения для расчетов, т.к. адекватный вид функции должен подбираться исходя из получаемого значения коэффициента корреляции.

Оценка роста сига в искусственных условиях проводилась путем контрольных взвешиваний в процессе выращивания. С этой целью использова-

лись рыбоводные показатели работы экспериментального рыбоводного цеха за период 2012-2014 гг.

В расчетах использовалась промысловая длина L (от конца рыла до конца чешуйного покрова на хвостовом плавнике) и общая масса W . Измерение годовых колец для последующих обратных расчислений проводились по переднему радиусу чешуи.

Аппроксимация зависимости длина-радиус чешуи по уравнению (2) показала высокую силу связи при значениях коэффициентов $a = 0,0836$, $b = 0,0978$ и коэффициенте линейной корреляции $R=0,97$. (Рисунок 27).

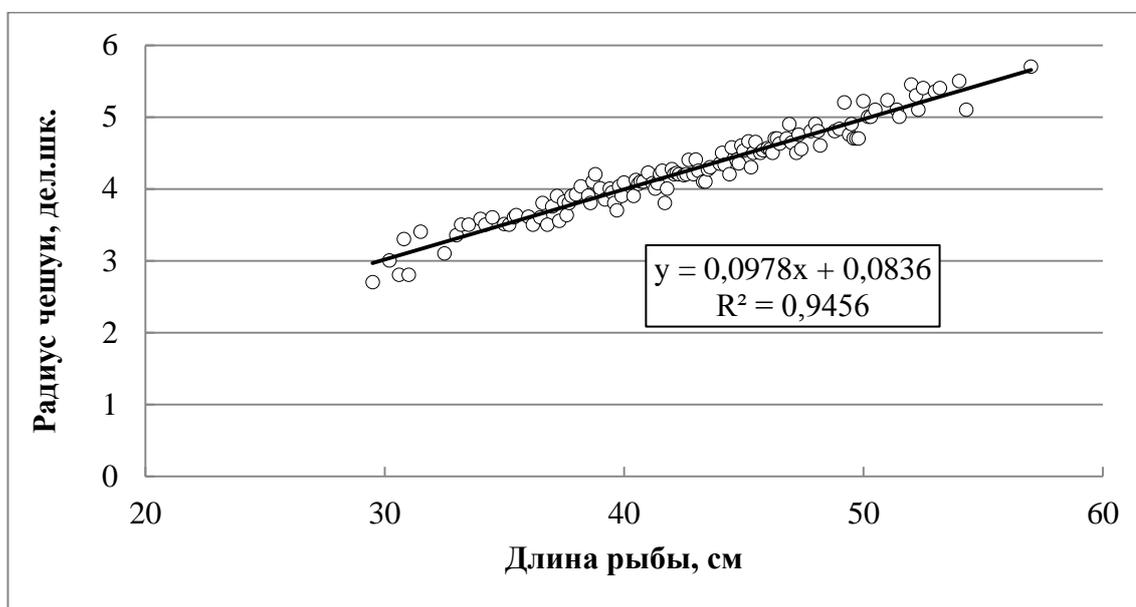


Рисунок 27 – Зависимость «радиус чешуи-длина» для сига Куршского залива

Полученные параметры уравнений были использованы для проведения обратных расчислений роста сига в процессе онтогенеза. При этом весь набор данных был сгруппирован по поколениям и определены средние значения длины для каждой возрастной группы (Таблица 6). Установлено, что ретроспективно в среднем годовики сига достигали 9,0 см с колебаниями для разных поколений от 8 до 10 см. С возрастом длина увеличивается со сравнительно небольшим замедлением и к десятилетнему возрасту достигает 55 см. Обращает на себя внимание тот факт, что для всех поколений характер роста

очень сходен: различия в длине одновозрастных особей составляют всего 2-3 см для младших возрастных групп, до 3-5 см - для старших. Более высокий темп роста наблюдался для поколений 2000-2004 гг. рождения, низкий – 2005-2008 гг. Причина этого может быть связана с различными термическими условиями конкретного года, однако для ее изучения нужны более длинные ряды наблюдений.

Таблица 6 – Линейный рост поколений сига по данным обратных расчислений, см

Поколение	Возраст, годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	9,4	15,6	22,2	28,8	35,3	40,0	44,6	-	-	-
1996	9,7	15,5	22,0	28,4	34,6	40,0	-	-	-	-
2000	10,8	16,7	22,8	29,8	35,5	40,6	45,3	48,7	-	-
2001	10,1	16,0	22,8	29,3	35,0	40,4	44,8	-	-	-
2002	10,0	15,8	22,3	28,6	34,5	40,1	42,6	46,4	49,8	55,0
2003	10,3	16,3	22,8	29,3	34,8	37,9	42,6	46,5	51,5	-
2004	9,0	15,0	21,1	27,5	33,2	38,7	42,8	47,9	50,5	-
2005	8,7	14,7	20,6	26,8	32,6	37,5	41,1	47,0	-	-
2006	8,6	14,8	20,9	27,3	33,1	38,0	40,8	46,0	-	-
2007	8,8	15,0	21,1	27,0	32,8	37,2	40,4	-	-	-
2008	8,8	15,0	21,7	28,1	33,9	38,7	-	-	-	-
2009	10,2	16,9	23,4	29,8	35,9	-	-	-	-	-
Среднее	9,0	15,1	21,4	27,6	33,4	38,2	42,0	47,2	50,1	55,0

Полученные результаты роста поколений были использованы для определения параметров литейного роста уравнения Берталанфи (VBE) (Рисунок 28)

$$L = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (5)$$

Расчет дал довольно неожиданные значения коэффициентов: $L_{\infty} = 95.1$; $K = 0.081$; $t_0 = 0.15$, а именно предельной длины. Данное значение ни в коей мере не отражает фактическую максимальную длину сига в естественных водоемах, как это полагают многие исследователи. Константа L_{∞} есть лишь асимптота уравнения, полученная на основании аппроксимации фактических значений длин рыбы в различных возрастах [65, 118]. Пер-

вичные данные свидетельствуют о том, что рост сига близок к линейному с очень небольшим замедлением в процессе старения. Данное обстоятельство и обуславливает получение столь большого значения коэффициента L_{∞} . Несмотря на это, данное уравнение хорошо аппроксимирует эмпирические данные с ошибкой не более 1,8%.

Используя параметры уравнения связи «длина-масса» (Рисунок 26), данные по линейному росту были преобразованы в значения весового роста, по которым определены многолетние значения массы особи в каждой возрастной группе для различных поколений (Таблица 7). Как видно, в среднем годовики достигают массы 8,5 г с колебаниями от 6,0 до 12,3 г.

Таблица 7 – Весовой рост поколений сига по данным обратных расчислений, г

Поколение	Возраст, годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	8,0	41	130	301	587	877	1251			
1996	8,9	41	126	290	547	882				
2000	12,3	51	141	337	595	925	1319	1661		
2001	10,2	45	141	318	570	905	1265			
2002	9,7	43	131	296	541	883	1078	1422	1790	2471
2003	10,8	47	141	320	560	738	1078	1429	1996	
2004	7,0	37	110	260	481	788	1095	1575	1873	
2005	6,2	34	101	239	451	715	956	1483		
2006	6,0	35	107	255	474	743	937	1383		
2007	6,4	36	110	245	459	694	909			
2008	6,4	36	120	278	514	787				
2009	10,5	54	155	338	619					
Среднее	8,5	42	126	290	533	812	1099	1492	1886	2471

С целью теоретического анализа весового роста сига серия полученных кривых для поколений была аппроксимирована уравнением Берталанфи

$$W = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad (6)$$

Получены следующие значения коэффициентов: $W_{\infty}=18148$ г; $K=0,070$; $t_0=-0,11$; ошибка аппроксимации – 1,2%. Нетрудно заметить, что на графике кривая весового роста сига имеет форму восходящей кривой без заметного

перегиба в зоне возрастов (Рисунок 29), близким к наступлению половозре-
лости. Этим и объясняется значение предельной массы, значительно превы-
шающее реально наблюдаемые в природе величины.

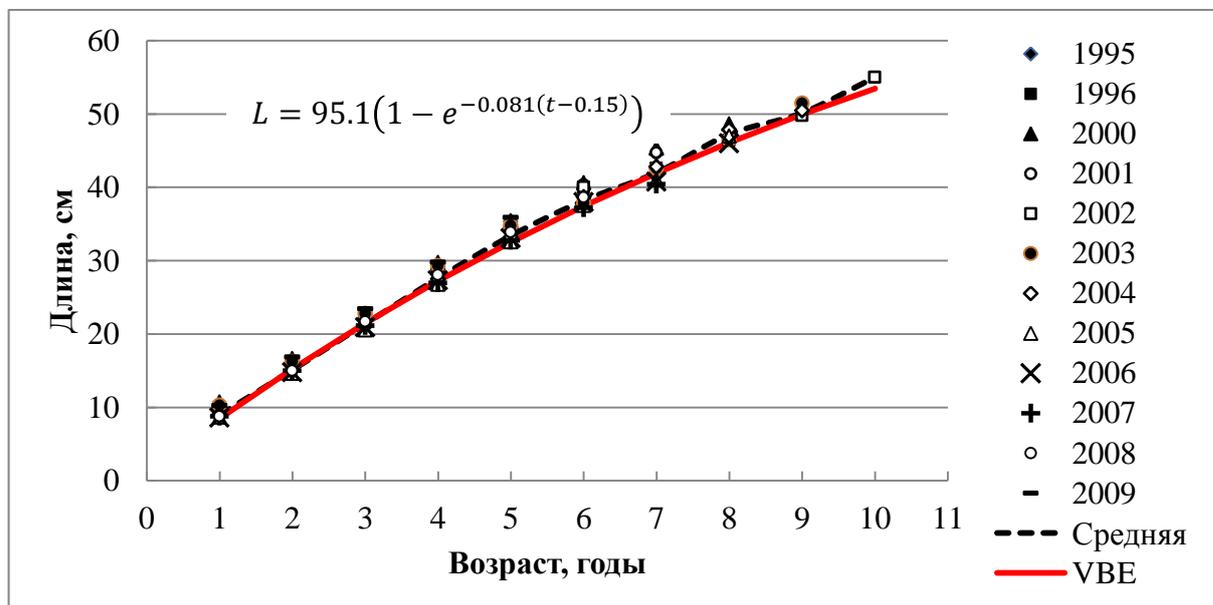


Рисунок 28 – Параметры уравнения Берталанфи для линейного роста сига Куршского залива

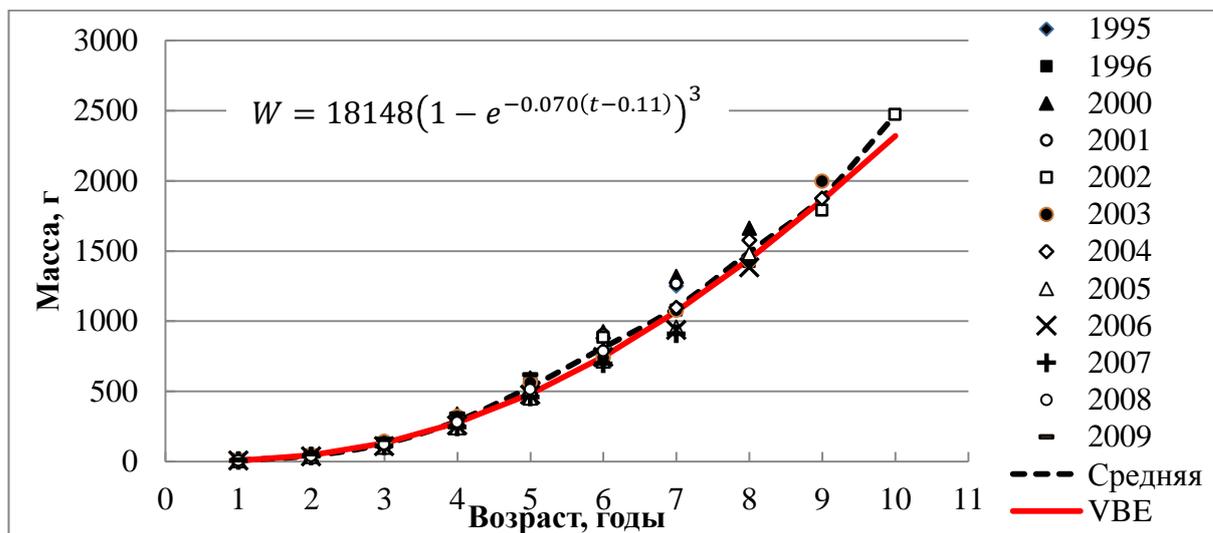


Рисунок 29 – Параметры уравнения Берталанфи для весового роста сига Куршского залива

Следует обратить внимание еще на одну особенность полученных коэффициентов уравнения Бергаланфи. Теоретически коэффициенты K и t_0 должны быть одинаковы для линейного и весового роста. Однако это справедливо только в случае кубической зависимости «длина-масса». Для сига Куршского залива данная зависимость несколько отличается от изометрической, и степенной коэффициент в уравнении равен 3,24 (Рисунок 25). В результате и коэффициенты уравнения Бергаланфи получены различные.

3.4.4 Сравнительный анализ роста сига в водоёмах Южной Балтики

С целью установления популяционного статуса сига Куршского залива, проведем сравнительный анализ особенностей роста проходного сига в водоёмах Южной Балтики. Исследования роста сига в процессе онтогенеза проводились рядом авторов применительно к водоемам Польши [131, 132, 142, 148], однако в их исследованиях использовалась общая длина рыбы (L_z). С целью возможности сопоставления, нами были определены параметры уравнения зависимости между промысловой и общей длиной ($L_z = 1.0372L + 3.6628$; $R = 0.98$) и все данные приведены к общей длине (Таблица 8). Как видно, несмотря на довольно большие колебания, рост сига достаточно сходен во всех водоемах Южной Балтики, лишь размерные показатели эстуария Одера значительно превосходят остальные. На наш взгляд, это может быть связано со спецификой методики определения возраста, но не собственно с характером роста сига.

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что результаты обратных расчислений отражают реальные закономерности роста сига Куршского залива, который в целом сходен с данной характеристикой в других водоемах.

Таблица 8 – Линейный рост сига в различных водоемах Польши [131] и Куршском заливе (общая длина), см

Водоем	Возраст, годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Goldopiwo	13,7	27,5	35,5	39,6	42,6					
Wielewskie	12,1	18,8	25,1	31,1	35,6	39,5	42,6			
Zagananie*	11,2	18,5	24,2	28,7	31,6	34,6	36,6	35,9		
Brzezno	13,1	20,2	30,0	35,6	38,5					
Dgal Wielki	14,9	27,0	35,0	40,8						
Gorzyn	10,9	19,1	27,1	35,5	39,6	42,6				
Tuczno	14,8	23,5	31,0	35,0	39,0	43,0				
Wdzydze	11,9	20,8	26,6	31,6	34,3	37,7	39,2	40,9		
Pomeranian Bay	18,0	29,8	38,2	44,5	48,5					
Oder estuary	22,4	32,4	41,2	48,6	55,0	60,6	64,7	68,6		
Куршский залив (наши данные)	13,0	19,3	25,9	32,3	38,3	43,3	47,2	52,7	55,7	60,7

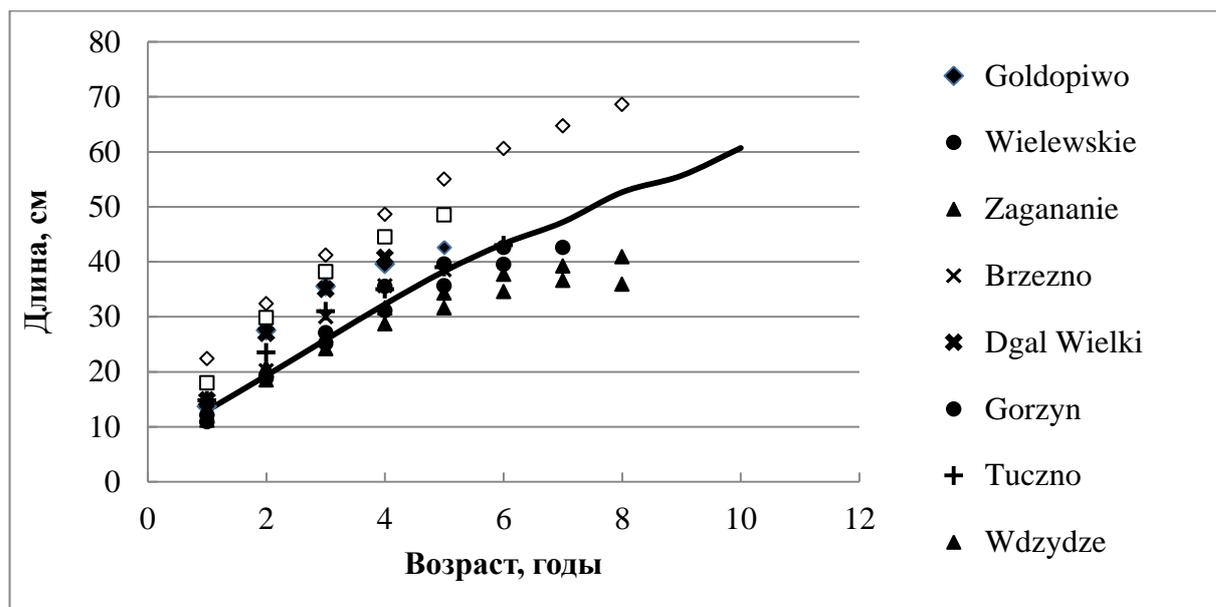


Рисунок 30 – Рост сига в различных водоемах Южной Балтики

3.4.5 Оценка оптимальной навески выпускаемой молоди

Полученные характеристики линейного и весового роста сига Куршского залива позволяют не только установить его общие закономерности и получить параметры уравнения роста Бергаланфи, но и решить прикладную за-

дачу, касающуюся определения оптимальной навески выпускаемой молоди при искусственном воспроизводстве.

Согласно обратным расчислениям роста, сиг возрастом один год может иметь длину от 8,7-10,8 см (в среднем 9,0 см) и массу 6,0-12,3 г (в среднем 8,5 г). Сравнивая эти результаты с данными И.Манюкаса [55], приведенными выше, можно сделать два вывода: во-первых, данные обратных расчислений очень хорошо совпадают с результатами прямых наблюдений; во-вторых, - установленная нормативная навеска выпускаемой молоди, равная 10 г является явно завышенной, т.к. превосходит массу особи, при которой сиг естественным путем мигрирует из Куршского залива в Балтийское море. Достижение этой навески при искусственном выращивании требует около 180 дней, т.е. до сентября. В этот период сеголетки сига естественного нереста уже находится в море или в районе Клайпедского пролива. Следовательно, выпуск молоди навеской 10 г, хотя теоретически и повышает промысловый возврат, но не согласуется с биологией вида.

Принятая в настоящее время навеска выпускаемой молоди, равная 1-2 г, в большей степени соответствует естественному ходу развития сига. Данной массы в искусственных условиях при выращивании в УЗВ особи достигают к маю-июню, поэтому после выпуска у молоди имеется достаточное время для адаптации к условиям залива и миграции море вместе с сеголетками естественного нереста.

По достижении навески 1-2 г жизнестойкость молоди резко увеличивается

3.5 Сравнительный анализ морфометрических показателей популяций сига в водоемах Калининградской области

В Калининградской области кроме проходной формы сига исследованной в данной работе существует еще другая экологическая форма сига – жилая пресноводная которая обитает в глубоководном олиготрофном озере Виштынецком. Максимальный улов сига в озере Виштынецком в объеме 4,5

т наблюдался в 1972 г., но к 1990 г. он существенно снизился, как считается, в связи с развалом рыбной отрасли и прекращением неводного лова [75].

Данные формы сига, практически полностью изолированы друг от друга, т.к. проходной сиг не имеет возможность пройти через речные системы из Куршского залива в оз. Виштынецкое, а виштынецкий сиг имеет собственные нерестилища непосредственно в озере. С другой стороны, озеро Виштынецкое гораздо старше Балтийского моря (возраст Балтийского моря – 8000 лет, в то время как возраст озера Виштынецкого составляет 20000 лет), и формирование озерной популяции сига в нем шло в иных условиях [7, 25]. В связи с этим вполне закономерным является вопрос о степени различий этих двух форм, может быть важным как с точки зрения развития теории видообразования, так и в практических вопросах при оценке возможности реализации комплексной программы восстановления запасов сига. Например, в связи с необходимостью восстановления запасов сига в 2009 г. в Калининградской области было начато искусственное воспроизводство сига Куршского залива сигом в объеме 150 тыс. шт. подрощенной молоди. Понятно, что эта цифра является крайне незначительной для залива, но вполне могла бы обеспечить достаточное пополнение запаса оз. Виштынецкого. Но для этого необходимо знать популяционный статус сигов водоемов Калининградской области.

Исследование морфометрии рассматриваемых популяций сига осуществлялось по нескольким направлениям [2, 117]:

- 1) получение морфометрических характеристик сига, которые до настоящего времени не описаны, и их статистик – среднего значения (M), ошибки средней (m), стандартного отклонения (σ), коэффициента вариации (V). В связи с тем, что размерный ряд исследуемых популяций существенно различается, все показатели выражались в относительных единицах - % от промысловой длины тела, как наименее варьируемого параметра по сравнению с зоологической длиной и длиной по Смитту;

2) изучение размерной изменчивости морфометрических признаков, путем аппроксимации связи каждого признака с промысловой длиной тела рыбы линейным уравнением вида $y = a + bx$. С целью характеристики силы связи использовался коэффициент корреляции R .

3) анализ степени различия морфометрических признаков исследуемых популяций с использованием критерия Стьюдента (t).

При проведении морфологического анализа сига оз. Виштынецкого и Куршского залива было исследовано 4 меристических признака (Таблица 9).

Сравнение меристических признаков сига оз. Виштынецкого и Куршского залива показывает, что средние значения всех меристических признаков сига озера Виштынецкого больше аналогичных признаков Куршского залива. Вместе с этим, по меристическим признакам для сига обоих водоемов наблюдаются достоверные различия по четырем признакам, что составляет 100% от общего их числа.

Многие авторы отмечают, что биологическое состояние популяций могут характеризовать не только значения средней арифметической каких-либо показателей, но и данные по их изменчивости, так как вариабельность признаков, наряду с другими видовыми свойствами, является приспособлением к изменению условий среды [91].

Степень изменчивости всех меристических признаков не превышает 10% и можно считать незначительной. Необходимо отметить, что признак количество тычинок на первой жаберной тычинке – наименее изменчив, и является наиболее важным в систематическом отношении для сиговых рыб. Выявлено, что все изученные пластические признаки находятся в сильной положительной связи с длиной тела рыбы: коэффициент корреляции имеет значения от 0,8 до 1,0. Причем скорость изменения признаков (коэффициент b) различна для двух популяций. Данный факт обуславливает невозможность прямого сравнения двух популяций и необходимость приведения значений параметров к некоторому единому знаменателю. Здесь возможны два варианта:

1) выбор некоторой стандартной длины и расчет значений каждого параметра применительно к ней с использованием полученных коэффициентов a и b ;

2) традиционное выражение значений показателей в процентах от длины тела.

Учитывая, что имеющиеся выборки изначально представлены существенно различными размерными группами особей, первый вариант может дать различные результаты. В связи с этим нами бы применен второй метод.

Большинство изучаемых пластических признаков, выраженных в относительных величинах, сравниваемых популяций (озеро Виштынецкое и Куршский залив) оказались достаточно слабо варьирующими (коэффициент вариации не превышает 10%). Лишь для некоторых параметров, таких, как ширина лба, ширина рыльной площадки и высота рыльной имеет место сравнительно высокая изменчивость (для популяции сига оз. Виштынецкого коэффициент вариации колеблется от 20,6% до 21,1%), что может быть связано с трудностью точного измерения данных признаков. Таким образом, варьирование пластических признаков сига озера Виштынецкого и Куршского залива выражено сильнее, чем варьирование меристических признаков.

Как отмечалось выше, с целью оценки достоверности различий признаков между популяциями сига двух водоемов был рассчитан критерий Стьюдента (t). Различия считались достоверными, если критерий Стьюдента превышал 2,18 при доверительном уровне $P \leq 0,05$ значимости, принятым достаточным для большинства биологических объектов. Сравнение пластических признаков сигов двух водоемов показало, что у 60% признаков наблюдаются достоверные различия (Рисунок 31).

Сиг озера Виштынецкого имеет (по отношению к длине тела) достоверно относительно большие средние значения длины туловища, длины рыла, длины головы, высоты головы у затылка, наибольшую и наименьшую высоту тела, постдорсального расстояния, длины основания спинного и анального плавников, высоты спинного и анального плавников и достоверно отно-

сительно меньшие – диаметр глаза, заглазничный отдел головы, антевентральное и антедорсальное расстояния, длина хвостового стебля, длина грудных и брюшных плавников. При сравнении по признакам, выраженным в процентах от длины головы, у сига озера Виштынецкого оказываются достоверно большие значения длины рыла, заглазничного отдела головы, длины средней части головы, высоты головы у затылка и достоверно относительно меньшие – диаметр глаза и ширина лба.

Эти морфологические особенности возникли в процессе эволюции и обусловлены различием условий в озере Виштынецком и Куршском заливе. Все эти различия способствуют возможности преодоления больших расстояний, которые проходит сиг Куршского залива при миграции из моря в залив. Подобные изменения в форме тела и функциях отдельных плавников в связи с разными гидрологическими условиями существования наблюдаются и у ряда других видов рыб. Таким образом, большинство изучаемых пластических признаков сравниваемых популяций (озеро Виштынецкое и Куршский залив) оказались: слабо варьирующими (коэффициент вариации не превышает 10%). Все изучаемые признаки коррелируют с длиной рыбы, коэффициент корреляции имеет значения от 0,8 до 1,0, что говорит о сильной зависимости между признаками и длиной тела рыбы. По многим признакам между сигом озера Виштынецкого и Куршского залива существуют достоверные различия (длина туловища, длина рыла, длина средней части головы, длина верхнечелюстной кости, наибольшая и наименьшая высота тела, антеанальное расстояние, длина основания спинного плавника, длина основания анального плавника, расстояние между грудными и брюшными плавниками, расстояние между брюшным и анальным плавником, длина наибольшей жаберной тычинки, длина верхней части жаберной дуги). Морфо-экологические различия между сигом озера Виштынецкого и Куршского залива объясняются различными условиями водоемов, в которых обитают исследуемые популяции.

Таблица 9 – Морфологические признаки сига озера Виштынецкого (n=49 экз.) и сига Куршского залива (n=34)

Признак	озеро Виштынецкое							Куршский залив							Значение t
	Колебания	M± m	σ	C, %	Параметры регрессии			Колебания	M± m	σ	C, %	Параметры регрессии			
					r	a	b					r	a	b	
Вес рыбы, г	48-1066	350,2±58,1	313,0	16,6	-	-	-	610-1566	925±50,3	293,4	5,4	-	-	-	-
Длина всей рыбы, мм (ab)	189-490	311,6±17,6	94,9	5,7	-	-	-	400-530	45,9±0,8	4,4	1,7	-	-	-	-
Длина тела по Смитту, мм (ac)	170-433	283,7±15,6	83,9	5,5	-	-	-	350-500	42,2±0,8	4,4	1,8	-	-	-	-
Промысловая длина, мм (ad)	160-409	268,4±14,9	80,2	5,6	-	-	-	330-470	40,1±0,7	4,2	1,8	-	-	-	-
Длина туловища, мм (od)	120-351	220,6±12,7	68,4	5,8	-	-	-	270-410	34,1±0,7	3,8	1,9	-	-	-	-
Меристические признаки															
Формула боковой линии	90-98	93±0,37	2,0	0,00	-	-	-	78-103	89±0,79	4,61	0,01	-	-	-	3,75*
Количество ветвистых лучей в спинном плавнике	11-14	12±0,11	0,6	0,01	-	-	-	11-12	11±0,06	0,36	0,01	-	-	-	6,72*
Количество ветвистых лучей в анальном плавнике	12-14	13±0,0	0,6	0,01	-	-	-	11-13	11±0,1	0,56	0,01	-	-	-	8,31*
Тычинок на первой жаберной дуге	36-37	37±0,08	0,5	0,00	-	-	-	29-37	33±0,31	1,81	0,01	-	-	-	12,31*
	Пластические признаки в % от длины тела				По абсолютным значениям признаков			Пластические признаки в % от длины тела				По абсолютным значениям признаков			
Длина рыла (an)	0,03-0,08	0,05±0,0	0,01	5,0	0,62	0,04	1,95	0,04-0,07	0,06±0,0	0,00	1,5	0,79	0,06	-0,15	4,29*

Продолжение таблицы 9

Диаметр глаза (горизонтальный) (np)	0,02-0,05	0,04±0,0	0,01	3,6	0,73	0,02	4,31	0,03-0,04	0,04±0,0	0,00	1,5	0,72	0,03	0,18	0,87
Заглазничный отдел головы (po)	0,08-0,12	0,10±0,0	0,01	1,4	0,98	0,11	-0,77	0,09-0,12	0,10±0,0	0,01	1,0	0,88	0,10	0,03	0,79
Длина головы (ao)	0,15-0,23	0,19±0,0	0,02	2,4	0,91	0,17	4,13	0,16-0,21	0,20±0,0	0,01	0,8	0,93	0,21	-0,61	1,57
Высота головы у затылка (lm)	0,13-0,18	0,15±0,0	0,01	1,5	0,97	0,16	-2,31	0,13-0,17	0,15±0,0	0,01	1,0	0,89	0,17	0,63	1,76
Наибольшая высота тела (qh)	0,17-0,32	0,25±0,01	0,03	2,6	0,98	0,35	-23,79	0,20-0,26	0,23±0,0	0,01	1,1	0,90	0,29	-2,25	3,16*
Наименьшая высота тела (ik)	0,06-0,09	0,08±0,0	0,01	1,4	0,99	0,09	-3,11	0,07-0,09	0,07±0,0	0,01	1,3	0,80	0,07	0,26	3,16*
Антедорсальное расстояние (aq)	0,44-0,49	0,47±0,0	0,01	0,5	0,99	0,47	-0,98	0,36-0,50	0,46±0,0	0,03	1,0	0,90	0,49	-0,97	0,70
Постдорсальное расстояние (rd)	0,42-0,48	0,45±0,0	0,01	0,6	0,99	0,46	-1,59	0,41-0,57	0,45±0,0	0,03	1,1	0,84	0,36	3,48	0,92
Антевентральное расстояние (az)	0,46-0,54	0,50±0,0	0,02	0,7	0,99	0,49	4,73	0,47-0,54	0,50±0,0	0,02	0,5	0,97	0,57	-2,90	0,97
Антеанальное расстояние (ay)	0,69-0,79	0,75±0,0	0,02	0,5	1,00	0,76	-2,08	0,60-0,97	0,79±0,0 1	0,06	1,3	0,91	1,10	-12,6	3,04*
Длина хвостового стебля (fd)	0,07-0,16	0,11±0,01	0,03	5,1	0,54	0,07	11,60	0,10-0,16	0,13±0,0	0,01	1,7	0,65	0,10	1,19	1,98*
Длина основания спинного плавника (qs)	0,10-0,15	0,12±0,0	0,01	1,3	0,98	0,14	-4,59	0,10-0,13	0,12±0,0	0,01	1,0	0,84	0,11	0,37	3,16*
Наибольшая высота спинного плавника (tu)	0,10-0,18	0,16±0,0	0,02	2,6	0,98	0,20	-9,87	0,10-0,18	0,14±0,0	0,03	3,5	0,59	0,10	2,10	1,87
Длина основания анального плавника (уу ₁)	0,11-0,15	0,13±0,0	0,01	1,4	0,98	0,15	-5,99	0,09-0,15	0,12±0,0	0,01	1,6	0,66	0,10	0,79	3,02*

Окончание таблицы 9

Наибольшая высота анального плавника (ej)	0,07-0,13	0,11±0,0	0,01	1,9	0,97	0,12	-3,92	0,12-0,14	0,11±0,0	0,02	3,7	0,36	0,05	2,44	1,06
Длина грудного плавника (vx)	0,12-0,18	0,15±0,0	0,02	2,0	0,98	0,19	-10,24	0,13-0,16	0,15±0,0	0,01	1,0	0,82	0,11	1,70	0,26
Длина брюшного плавника (zz ₁)	0,12-0,18	0,14±0,0	0,01	1,8	0,98	0,18	-8,06	0,11-0,17	0,14±0,0	0,03	3,2	0,79	0,12	1,25	0,98
Расстояние между грудными и брюшными плавниками (vz)	0,29-0,35	0,32±0,0	0,02	1,1	0,98	0,33	-1,74	0,27-0,34	0,31±0,0	0,02	0,9	0,93	0,37	-2,62	2,36*
Расстояние между брюшными и анальным плавником (zy)	0,24-0,29	0,26±0,0	0,01	0,9	0,99	0,28	-4,43	0,21-0,31	0,28±0,0	0,02	1,2	0,80	0,26	0,56	3,99*
Длина наибольшей жаберной тычинки	0,01-0,03	0,02±0,0	0,00	3,6	0,72	0,02	0,88	0,01-0,03	0,02±0,0	0,00	2,1	0,54	0,02	0,25	3,54*
Примечание: М – среднее значение признака; m – ошибка среднего значения признака; σ – стандартное отклонения; С,% - коэффициент вариации; * - отличия достоверны при уровне значимости P≤0,05															

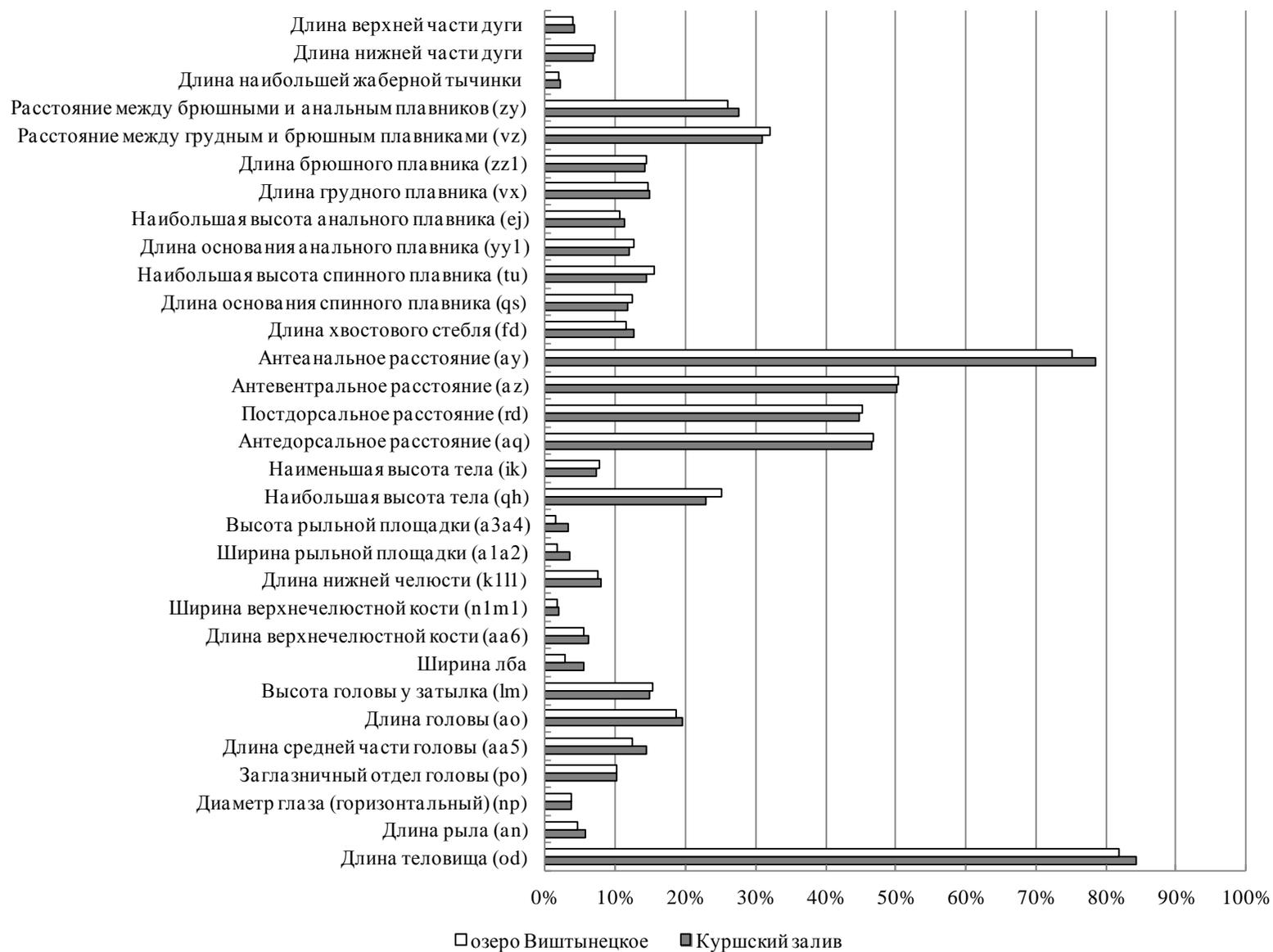


Рисунок 31 – Пластические признаки сига оз. Виштынецкого и Куршского залива

4 ОСОБЕННОСТИ БИОТЕХНИКИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗВ

4.1 Заготовка производителей

4.1.1 Нерестовый ход сига

До настоящего времени детально нерестовый ход сига в Куршском заливе не изучался, имеются общие сведения о сроках и периоде нерестового хода, максимальной и минимальной продолжительности нереста [55, 60, 126]. В этой связи нами проведен детальный анализ нерестового хода сига и его зависимости от внешних экологических факторов. Исследования охватывали шестилетний период, начиная с запуска работы цеха в 2009 г. [124].

Нерест сига происходит в ноябре-декабре при температурах от 7°C до 0,5°C. Интенсивность нерестового хода сига в отдельные годы определяется двумя основными факторами – графиком хода температур и погодными условиями (Рисунок 32).

В 2009 г. отлов производителей сига был начат 28 октября при температуре воды 6,8°C, первые особи сига отловлены 31 октября, а текущие самки начали встречаться с 14 ноября при температуре воды 4,8°C. В течение первого периода заготовки производителей происходило постепенное понижение температуры, что повлекло за собой увеличение интенсивности нерестового хода. Так, если в конце октября улов на усилие составлял 0,2 кг на сетесутки, то к 19 ноября уловы увеличились в три раза и достигли максимальной величины – 0,6 кг на сетесутки.

Начиная с 16 ноября, произошло резкое повышение температуры воды в связи с изменением погодных условий с 4,5°C до 7,2 °C, что привело к прекращению нерестового хода и падению уловов сига до нуля в период с 27 ноября по 2 декабря. Последующее снижение температуры привело к повышению уловов до 0,33 кг на сетесутки. Однако в этот период наблюдалась ре-

зорбция икры у отдельных самок. Последние текущие самки были отловлены 10 декабря при температуре воды в заливе 4°C.

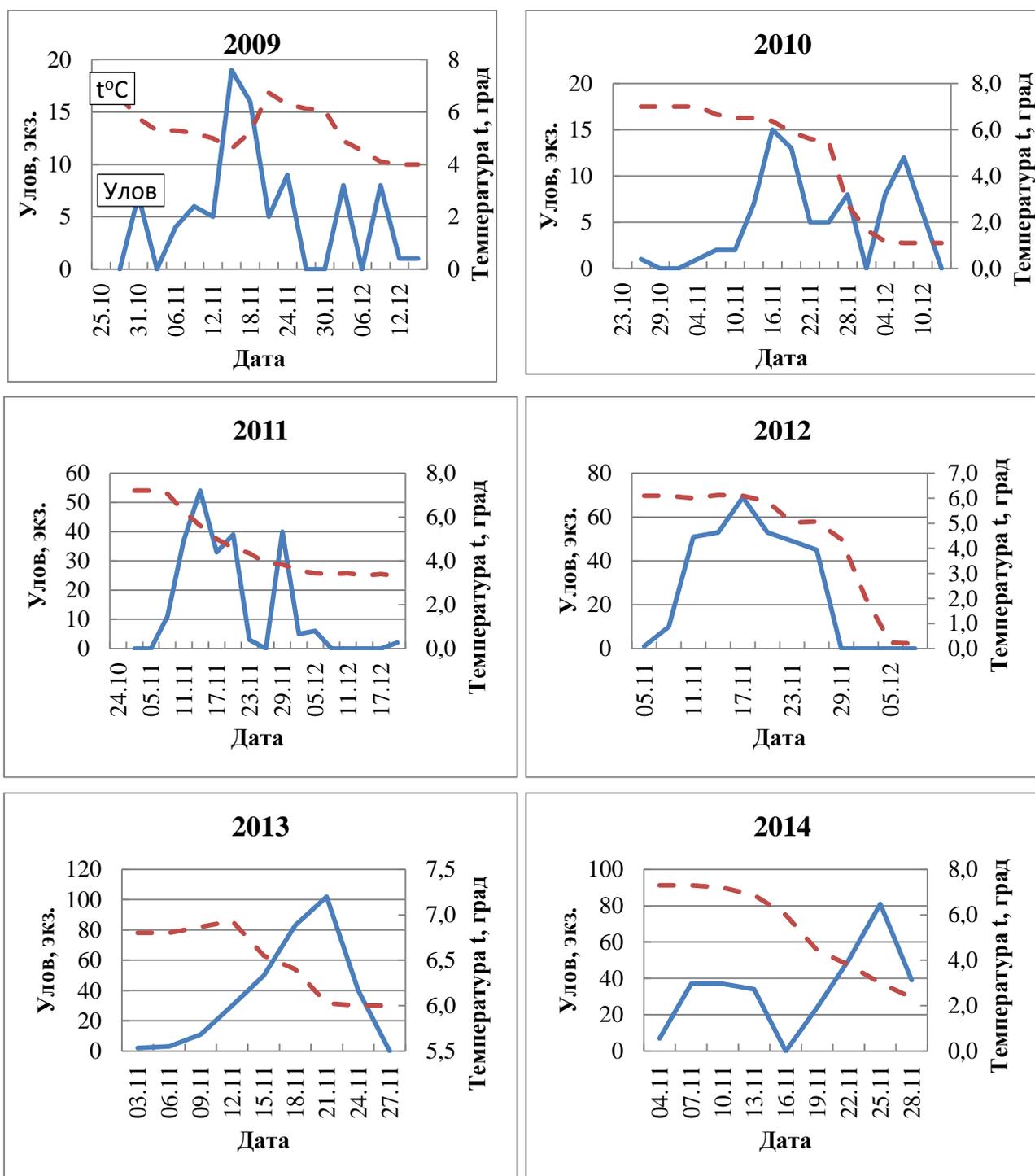


Рисунок 32 – Динамика нерестового хода сига в разные годы в зависимости от температуры

В 2010 г. отлов производителей сига был начат 27 октября при температуре воды в заливе 7°C, первые особи сига отловлены 28 октября, а текущие

самки начали встречаться с 18 ноября при температуре воды $6,1^{\circ}\text{C}$. В течение периода заготовки производителей 18 по 28 ноября происходило постепенное понижение температуры с 6°C до $4,5^{\circ}\text{C}$, улов на усилие составил в среднем 0,3 кг на сетесутки. В период с 29 ноября по 3 декабря отлов производителей сига не проводился, так как на Куршском заливе началось образование ледового покрова. 4 декабря, после образования ледового покрова достаточной толщины, сети были выставлены под лед. Интенсивность нерестового хода, который может характеризоваться уловом на усилие, в период с 5 по 10 декабря составила 0,33 кг на сетесутки при температуре $1,1-1,2^{\circ}\text{C}$. Последние текущие самки были отловлены 10 декабря при температуре воды в заливе $1,1^{\circ}\text{C}$.

В 2011 г. начиная с 26 октября, при температуре воды $7-7,5^{\circ}\text{C}$, в прилове рыбаков были отмечены единичные особи сига. 5 ноября был начат отлов производителей. 8 ноября были отловлены первые производители при температуре воды $7,2^{\circ}\text{C}$. Первые текущие самка отловлена 12 ноября при температуре воды $6,0^{\circ}\text{C}$. 2011 г. характерен плавным понижением температуры воды в Куршском заливе с $6,2^{\circ}\text{C}$ до $4,2^{\circ}\text{C}$ период с 4 ноября по 20 декабря. Интенсивность нерестового хода увеличивалась с 6 ноября, достигла максимума 15-16 ноября и плавно снижалась вплоть до 2 декабря. Уловы на усилие в среднем составили с 8 по 11 ноября 0,2-0,6 кг/сетесутки, с 12 по 22 ноября 1,2-2,8 кг/сетесутки и с 23 ноября по 2 декабря 0,6-1,1 кг на сетесутки. Последние текущие самки были пойманы 20 декабря при температуре воды в заливе $3,4^{\circ}\text{C}$.

Начало лова в 2012 г. пришлось на 5 ноября. 6 ноября были отловлены первые производители при температуре воды $6,1^{\circ}\text{C}$. Первые текущие самка отловлена 10 ноября при температуре воды $6,0^{\circ}\text{C}$. Начиная с 9 ноября уловы постепенно увеличиваются вплоть до 20 ноября. Колебание температуры с 6 ноября по 20 ноября были значительны и в среднем температура составляет $6,1^{\circ}\text{C}$. После 20 ноября начинается плавное снижение температуры и уловов, вплоть до 29 ноября, когда перестают попадаться производители сига, и 2

декабря наступает резкое похолодание. Последние текущие самки отловлены 28 ноября при температуре воды в заливе 5,0°C.

В 2013 г. лов производителей сига был начат 4 ноября, первые производители были пойманы 5 ноября при температуре воды 6,7°C. Первая текущая самка отловлена 12 ноября при температуре воды 7,0°C. Температура воды до конца нерестовой компании колебалась в малых пределах и в среднем составила 6,5°C. С 10 ноября отмечалось увеличение интенсивности уловов вплоть до 22 ноября, затем резкий спад. Максимальное количество уловов на единицу промыслового усилия приходится на температуру 6-6,5°C. Последние текущие самки отловлены 24 ноября при температуре воды в заливе 6,0°C.

Начало лова в 2014 г. приходится на 5 ноября, первые экземпляры производителей сига были пойманы 6 ноября при температуре воды в заливе 7,3°C. Первые текущие самки отловлены 9 ноября при температуре воды 7,3°C. В 2014 г. отмечено быстрое понижение температуры в ноябре. В результате оказалось, что по сравнению с прошлыми годами, максимальное количество выловленных производителей сига приходится не на температуру 6-6,5°C, а на диапазон 7-7,5°C. Вылов составил 93 экземпляра. По величине улова на усилие максимальное значение приходится на температуру воды 3-3,5°C. Последние текущие самки отловлены 29 ноября при температуре воды в заливе 2,7°C. Усредненные данные уловов на усилие по годам приведены на графике (Рисунок 33).

В ходе отловов установлено, что нерест на банке в районе п. Киевское начинается на 3-5 суток позже, чем на банке около поселка Рыбачий. Это, вероятно, связано с тем, что банка в районе п. Киевское более удалена от входа в Куршский залив. Сроки нереста отражены в таблице (Таблица 10, Рисунок 34).

Таблица 10 – Сроки нереста производителей сига по годам

Показатели	Год				
	2009	2011	2012	2013	2014
начало	14.11	18.11	10.11	12.11	09.11
конец	10.12	10.12	28.11	24.11	29.11



Рисунок 33 – Межгодовая динамика структуры нерестового стада сига и уловов на усилие

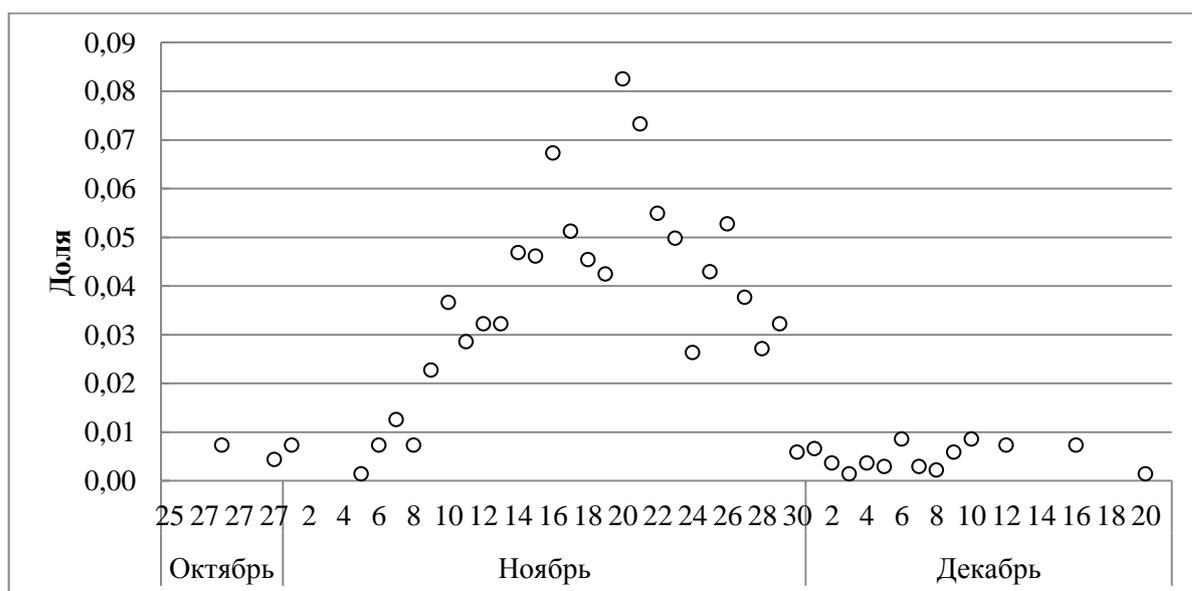


Рисунок 34 – Временная структура нерестового хода сига Куршского залива

Таким образом, общие закономерности нерестового хода сига в Куршском заливе можно описать следующим образом. Начало нереста обычно приходится на 9-14 ноября, окончание на 28 ноября-10 декабря. Продолжительность нереста зависит от температуры и погодных условий и в среднем составляет от 18 до 30 суток. Так повышение температуры и продолжительные штормовые ветра увеличивают период нереста, и наоборот плавное понижение температуры и относительно тихая погода, способствуют сокращению периода нереста. В случае резкого снижения температуры воды и раннего ледостава нерест проходит подо льдом.

4.1.2 Отлов производителей

Отлов производителей проводился на описанных выше нерестилищах сига, банке «Киевская» и у пос. Рыбачий. Для отлова применялись ставные сети с размером ячеи 50-60 мм, длиной 50 м. Сети выставлялись порядками 4-6 шт. непосредственно на нерестилищах. Для получения живых производителей с минимальными повреждениями сети проверялись то одного, а при массовом подходе производителей до двух раз в сутки. Наиболее интенсивный подход производителей на нерестилище отмечался в дни, когда температура воды была оптимальной, погода маловетреной с 10 часов вечера до 2 часов ночи. Поскольку наиболее качественные половые продукты получают от производителей созревших непосредственно в заливе, а появление текучих самок за весь период наблюдений не отмечалось ранее 9 ноября, то отлов в районе пос. Рыбачий начинали 5-6 ноября, на банке «Киевская» на 2-3 суток позже. Для транспортировки производителей применяли специальные живорыбные сумки объемом 40-45 литров, куда помещали производителей, 10-15 шт. в зависимости от размера. Во время обработки сетей и перед транспортировкой по суше каждые 20-25 минут в сумках заменяли 50% воды. Время транспортировки составляло 1,5-2,5 часа в зависимости от места облова. При соблюдении перечисленных требований отход производителей во время транспортировки не наблюдался.

После доставки производителей на цех проводили их осмотр, у созревших самок сцеживали икру, а незрелых отсаживали на выдерживание, так же на выдерживание отсаживали и самцов, создавая резерв 20-30 штук. Для оплодотворения икры в первую очередь использовали только что пойманных самцов, при их нехватке пойманных ранее.

4.1.3 Выдерживание производителей сига

Выдерживание производителей производилось на открытой площадке цеха, где установлены шесть стеклопластиковых бассейнов по 2 м³ каждый, режим водоснабжения оборотный, подпитка водой от артезианской скважины цеха. Незрелые самки помещались в бассейны для дозревания и последующего использования отдельно от самцов. Плотность посадки, в зависимости от размеров особей, до 35-40 экз. на бассейн. Проверка самок на «текучесть» проводилась раз в сутки, более 95% самцов в этот период бывали текучие, поэтому всегда в наличии был необходимый запас. Поскольку открытая площадка не оборудована системой терморегуляции, подпитка водой осуществлялась от артезианской скважины (температура воды 8-9°C), период выдерживания самок до созревания напрямую зависел от температуры воздуха и составлял 1-3 суток при температуре менее 4-5°C. При таких благоприятных условиях созревало до 90-95% самок. В случае не благоприятных температурных условий (температура воздуха более 7-8°C) процент созревших самок существенно уменьшался до 60% и менее [111].

С целью изучения возможности дозревания самок были проведены эксперименты по более длительному их выдерживанию и стимуляции созревания гипофизарными инъекциями. Установлено, что, как правило, если самка не созревала в течение 3-4 дней, то в дальнейшем наступала резорбция икры или в случае созревания полученные половые продукты были не удовлетворительного качества. Применение гипофизарных инъекций также не дало положительного результата. Таким образом, можно сделать вывод, что определяющим фактором созревания самок сига является температура. В течение

первых двух лет работы предприятия схема заготовки и выдерживания производителей была полностью отработана и дальнейшие эксперименты в этом направлении оказались не нужными.

В целом процент производителей, от которых были получены половые продукты надлежащего качества, варьировал в широких пределах в зависимости от температурных условий конкретного года. В теплые годы с медленным похолоданием процент использованных производителей составлял около 40%, в годы, когда температура во время нереста находилась в оптимальных пределах, процент производителей, от которых были получены половые продукты хорошего качества, был существенно выше и доходил до 70%.

4.1.4 Взятие половых продуктов, осеменение и закладка икры на инкубацию

Отбор икры у самок производился в непосредственной близости от инкубационного отделения цеха, в месте где отсутствуют прямые солнечные лучи и ветер при температуре не выше 5-8 С°. Самку помещали на полотенечную ткань, расстеленную на столе, обтирали от воды и слизи брюшную полость особенно тщательно в районе анального отверстия и полностью оборачивали самку полотенечной тканью оставляя открытым не большой участок брюшка в районе анального отверстия. Оборачивание самки полотенечной тканью позволяет более надежно удерживать ее в руках, и полностью исключает попадание воды, слизи и пр. с тела самки в сцеживаемую икру, что в свою очередь приводит к преждевременной активации акры и снижения процента оплодотворения. Обернутую самку брали левой рукой чуть ниже головы в районе грудных плавников, правой рукой за хвостовой стебель и размещали над краем таза, вверх головой под углом 35-45° от вертикали, таким образом, чтобы расстояние от анального отверстия до края таза было не более 1-2 см, а угол, под которым икра стекает на бортик таза как можно более острым. Это помогает максимально снизить травмируемость икры при сцеживании. При сцеживании хвостовой стебель отгибали кверху, и если самка до-

статочно созрела, икра ровной струйкой стекала в таз. Если в процессе сцеживания истекание икры замедлялось, то пальцем прикрывали анального отверстия, самку размещали вертикально и несколько раз слегка встряхивали. Для сбора икры применялись пластмассовые тазы объемом 3-5 литров, с гладкой внутренней поверхностью без сколов и заусенец. В один таз сцеживали до пяти самок.

После этого начинали брать сперму у самцов, самцов также как и самок помещали на полотенечную ткань, обтирали, но не оборачивали, так как время нахождения самца над тазом с икрой не велико (Рисунок 35).



Рисунок 35 – Взятие половых продуктов

Самца одной рукой брали под брюхо, а другой рукой за спину и размещали над тазом с икрой, после чего сжимали вдоль брюшка по направлению к анальному отверстию. Таким образом, сперма попадала в таз с икрой. Для осеменения использовали от одного до трех самцов на самку, в зависимости от качества и количества спермы. Одного самца использовали для осеменения икры до трех раз, с перерывами в один-два дня, после чего качество половых продуктов, как правило, снижалось. После икру и сперму перемешивали пером и в таз аккуратно по краю добавляли воду, так чтобы она покрыла икру небольшим слоем. Слегка покачивая таз круговыми движениями, еще раз перемешивали икру и сперму и ставили таз на 7-8 минут для за-

вершения процесса оплодотворения. Затем путем 5-6 кратной частичной замены воды из таза удаляли сперму, таз с оплодотворенной икрой переносили в инкубационное отделение цеха и оставляли на 7-8 часов для обесклеивания и набухания икры. Для этого через таз при помощи шланга делали проток воды непосредственно из контура инкубационного отделения. Для всех этапов оплодотворения икры использовалась вода из контура инкубационного отделения, температура которой поддерживалась системой терморегуляции и была приблизительно, на тот период равна температуре воды на нерестилище, порядка 2-6°C.

4.1.5 Учет икры и определения ее качества

С целью учета количества икры во время ее закладки на инкубацию в аппараты Вейса, изменения ее количества в течение всего процесса инкубации, а также подсчета вылупившейся предличинки, применялся следующий метод. Определялся объем икры в 1 см³, а сами аппараты Вейса были тарированы по объему. Для определения количества икры на непродолжительное время проточка через аппарат перекрывалась, после того как икра осаждалась в аппарате, определялся ее объем и подсчитывалась количество. Данную процедуру не проводили на критических стадиях онтогенеза, когда икра слабоустойчива к механическим повреждениям.

В руководствах [60] по биотехнике искусственного воспроизводства сига для получения половых продуктов обычно рекомендуют отбирать самок без механических повреждений. В нашем случае по ряду причин, как то, недостаток производителей в первые годы работы цеха и целесообразность более полного использования отловленных производителей в дальнейшем, для отбора половых продуктов бралась вся рыба, в том числе имеющая механические повреждения. Это так же связано с тем, что в процессе отлова производителей применялись ставные сети, в которых практически вся рыба повреждается в той или иной степени. Поэтому в процессе отбора икры у самок визуально определялась ее качество. Если качество икры было не удовлетво-

рительным, то она далее не использовалась, а в случае возникновения сомнений икру оплодотворяли выше описанным способом, но помещали в отдельный аппарат Вейса. Через пять суток после начала инкубации осуществлялся контроль процесса развития икры под микроскопом и определялся процент оплодотворения. По результату исследования принималось решение о целесообразности ее дальнейшей инкубации. Аналогичным способом определялся процент оплодотворения у всей икры заложенной на инкубацию.

В случае использования половых продуктов хорошего качества, процент оплодотворения был очень высоким и составлял 96-98%.

4.2 Инкубация икры и эмбриональное развитие

4.2.1 Особенности инкубации икры

Инкубация икры проводилась в соответствии с общепринятой методикой по воспроизводству сига в аппаратах Вейса емкостью 8 литров. Загрузка каждого аппарата составляла 160-180 тыс. икринок, объемом 6,5-7 литров. Проточность в процессе инкубации изменялась от 1,8 литров в минуту в начале инкубации до 2,8 литров в минуту в конце [21, 39,61, 62, 63, 64]. Температура в процессе инкубации поддерживалась чиллером в пределах 2,5-2,8°C до момента подготовки икры к вылуплению (Рисунок 36) за исключением временем закладки икры в аппараты, стимуляции вылупления и экспериментов по получению вылупления двух партий личинки описанного ниже.

Отбор погибшей и зараженной сапролегнией икры производился ежедневно пипеткой или сифоном, до 4-5 раз в сутки. Отход икры за период инкубации в разные годы колебался от 14 до 24% (Таблица 11). Наибольший отход икры наблюдался, как правило, на 25 – 40 сутки. После наступления стадии пигментации глаз отход снижался, и потребность чистки аппаратов сокращалась (Рисунок 37).

В процессе инкубации на стенках аппаратов образовывался известковый налет, который за счет истирания способствовал механическому повре-

ждению икры и увеличивал отход. Для предотвращения данного явления, при образовании налета, икру переносили в чистый аппарат, а загрязненный аппарат отключали от системы, удаляли налет химическим способом и возвращали, обратно делая его резервным. За период инкубации подобной процедуре подвергался каждый аппарат от одного до двух раз.

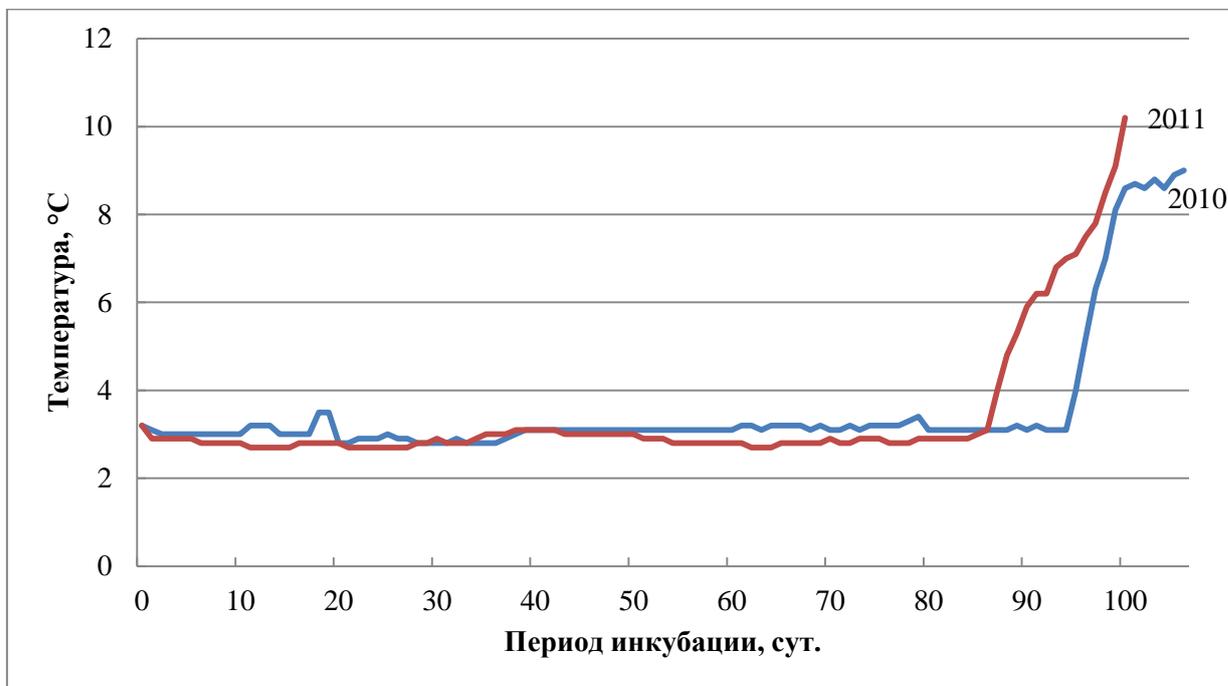


Рисунок 36 – Динамика температуры в период инкубации

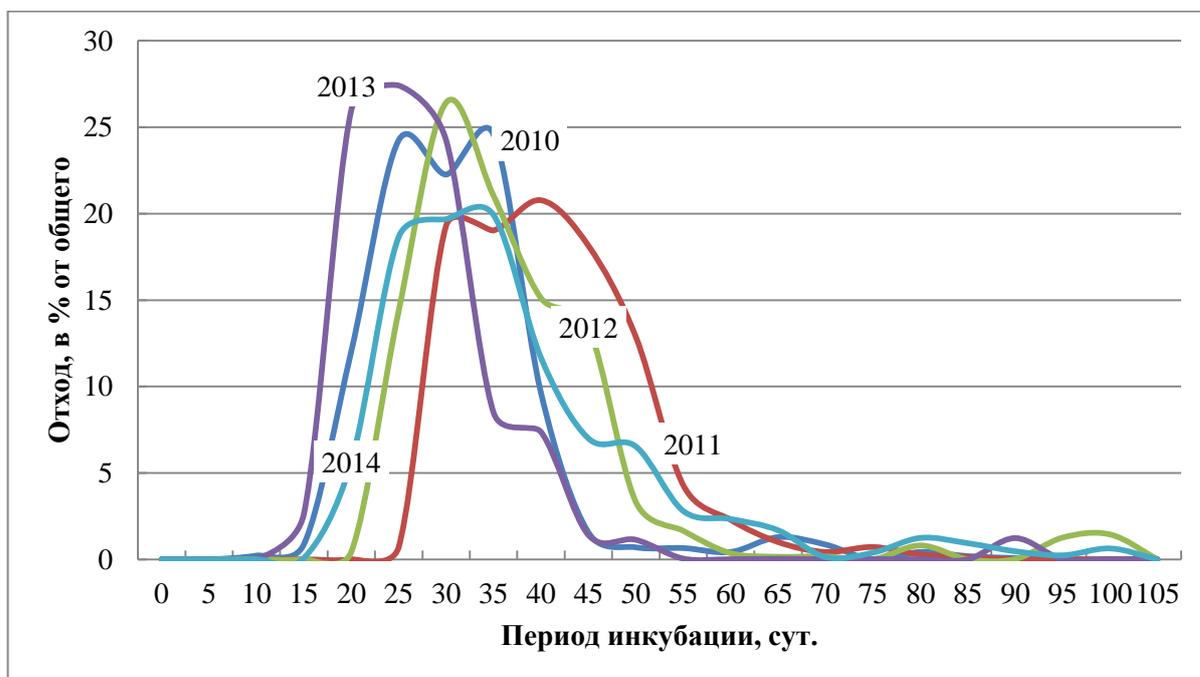


Рисунок 37 – Динамика отхода в период инкубации (в процентах от суммарного за период инкубации)

Таблица 11 – Отход икры в период инкубации

Период инкубации, сут.	Динамика отхода									
	% от закладки икры					% от общего отхода				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
0-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5-9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
15-19	1.37	0.00	0.00	0.64	0.02	5.96	0.00	0.00	2.63	0.08
20-24	2.74	0.00	0.07	6.35	1.21	11.92	0.00	0.44	26.00	5.65
25-29	3.33	0.10	2.19	6.69	3.38	14.45	0.71	14.39	27.41	15.81
30-34	3.28	1.76	4.02	5.92	1.84	14.23	12.59	26.45	24.23	8.60
35-39	1.70	2.66	2.31	2.07	3.77	7.39	19.04	15.19	8.48	17.63
40-44	0.32	2.90	3.18	1.68	3.24	1.39	20.78	20.90	6.89	15.15
45-49	0.14	2.54	2.04	0.34	0.83	0.63	18.15	13.44	1.41	3.87
50-54	0.09	2.74	0.51	0.28	0.43	0.38	19.58	3.32	1.13	2.03
55-59	0.15	0.60	0.25	0.01	1.46	0.66	4.29	1.65	0.04	6.83
60-64	1.09	0.32	0.05	0.00	1.00	4.72	2.29	0.36	0.01	4.67
65-69	2.92	0.14	0.02	0.01	0.36	12.69	1.00	0.15	0.03	1.69
70-74	2.77	0.06	0.03	0.00	0.03	12.02	0.43	0.17	0.00	0.13
75-79	2.46	0.10	0.00	0.00	0.08	10.70	0.71	0.01	0.01	0.39
80-84	0.55	0.04	0.12	0.00	0.27	2.38	0.29	0.80	0.01	1.24
85-89	0.04	0.02	0.00	0.00	2.38	0.19	0.14	0.01	0.00	11.12
90-94	0.02	-	0.00	0.42	0.53	0.08	0.00	0.02	1.72	2.49
95-99	-	-	0.19	0.00	0.05	0.00	0.00	1.26	0.00	0.23
100-104	-	-	0.22	-	0.14	0.00	0.00	1.44	0.00	0.63
105-109	-	-	-	-	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75
110-114	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115-124	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Общий итог	23.02	13.98	15.21	24.43	21.40	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

4.2.2 Получение двух партий личинки сига

Технологическая схема Экспериментального рыбоводного цеха предусматривала наличие только одного контура в инкубационном и личиночном отделениях. Поэтому в случае отказа технологического оборудования угрозе гибели подвергалась вся инкубируемая икра и находящаяся на выдерживании предличинка. Для предотвращения такой возможности и гарантированного выполнения государственного задания по воспроизводству сига, а так же увеличения выпуска подрощенной молоди, в 2012 г. была поставлена задача

по разделению инкубационного отделения на два независимых контура и проведения эксперимента с целью выяснения возможности получения двух партий личинок сига с интервалом вылупления не менее 30 суток, для их последовательного подращивания в одном контуре личиночного отделения [116].

В предыдущие годы был получен опыт по инкубации икры при различных температурных режимах. Так, при проведении работ по воспроизводству сига 2008-2009 гг. использовались арендованные мощности, в которых инкубационное отделение не было оборудовано системой терморегуляции. Икра инкубировалась при температуре 7-8°C в течение всего периода от закладки до вылупления. При этом инкубационный период составил 45-70 суток. В результате отход икры за период инкубации оказался более 60%, отход личинки за период выдерживания и подращивания до навески 0,3 г более 70%, вылупление было растянутым и продолжалось 25 суток. Подобную ситуацию подтверждают литературные данные об отрицательном воздействии температур выше критической, особенно до наступления стадии глазка [43].

В 2010-2011 гг. на базе цеха проводились эксперименты по сокращению сроков инкубации за счет повышения температуры. После наступления стадии глазка, на 50 сутки инкубации температуру воды в инкубационном отделении плавно повышали с 2,5-2,8°C в течение 28 суток до температуры 8°C. На 87-89 сутки прошло массовое вылупление предличинки сига. Дальнейшее выдерживание и подращивание личинки, выращивание малька до навески 2-5 г не выявил увеличения отхода на всех этапах.

Таким образом, данный эксперимент показал возможность сокращения сроков инкубации без отрицательного влияния на личинку и малька сига в дальнейшем, что также подтверждают и литературные данные [43].

Поскольку проведенные эксперименты подтвердили возможность сокращения сроков инкубации икры сига, за счет повышения температуры, но не достигли желаемого интервала между двумя вылуплениями не менее 30 суток, было предложено ускорить инкубацию первой партии икры за счет

повышения температуры и увеличить срок инкубации второй партии за счет замедления эмбрионального низкой температурой.

Инкубационное отделение было разделено на два контура в пропорции 15 и 5 аппаратов Вейса, что позволило проводить инкубации двух партий икры при различной температуре.

В 2012-2014 гг. закладка икры на инкубацию в аппараты проводилась по мере получения зрелых производителей, при температуре в инкубационном отделении близкой к температуре в заливе. После закладки дальнейшая инкубация происходила при температуре 2.6-2.8°C в течение 35-43 суток до наступления стадии пигментации глаз. После этого часть икры перемещалась во второй контур и ее дальнейшая инкубация проводилась при постепенном повышении температуры с 2.6-2,8 до 6.5-8°C в течение 40-50 суток (Рисунок 38). После чего начиналось вылупление, которое проходило в течение 5-6 дней.

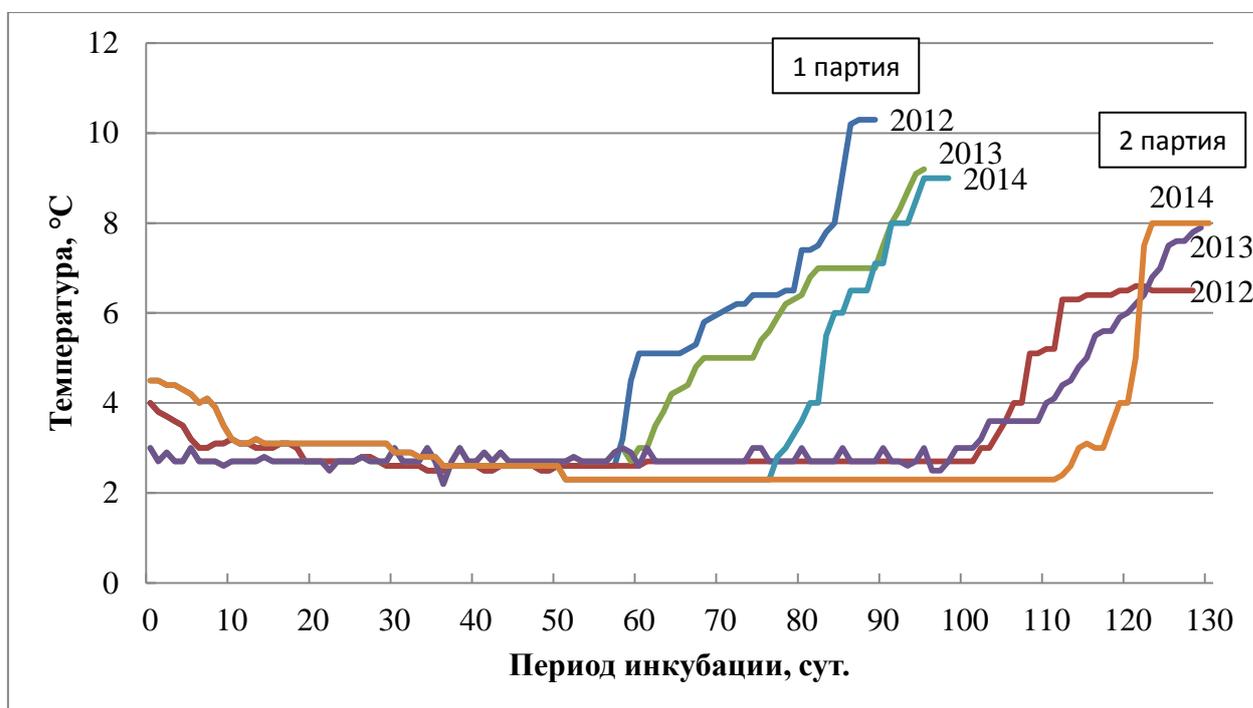


Рисунок 38 – Динамика температуры в период инкубации при получении двух партий личинки сига

После вылупления предличинку пересаживали в личиночное отделение, где происходило ее выдерживание, переход на питание сухими кормами

и подращивание до навески 50-60 мг в течение 31-38 суток. Затем личинку переводили в мальковое отделение, а личиночное отделение готовили для приема второй партии.

Вторую партию икры с целью увеличения срока инкубации продолжали инкубировать при той же температуре 2.5-2.8°C в течение 35-42 суток. Затем с целью стимуляции вылупления температуру с градиентом 0,5 град/сутки повышали до 7-8°C. По мере вылупления личинку второй партии переводили в личиночное отделение. Выдерживание и подращивание второй партии в личиночном отделении проводилось до начала поэтапного выпуска молоди сига первой партии из малькового отделения в Куршский залив и освобождения рыбоводных бассейнов. По мере освобождения бассейнов малькового отделения, осуществлялась пересадка в них личинки второй партии из личиночного отделения для дальнейшего выращивания.

Таким образом, инкубационный период первой партии икры в зависимости от срока закладки и времени вылупления колебался в пределах 89-93 суток, второй партии – от 125 до 130 суток (Таблица 12).

Таблица 12 – Показатели инкубации двух партий икры

Год	Период инкубации		Сумма градусодней	
	Партия 1	Партия 2	Партия 1	Партия 2
2012	89	130	360	418
2013	93	129	361	408
2014	91	125	315	361
Среднее	91	128	345	396

В результате разница во времени между вылуплениями составляла 34-41 суток, что позволило снизить плотности посадки в личиночном и мальковом отделениях, увеличить темп роста и улучшить гидрохимические показатели в УЗВ. За периоды инкубаций, во время проведения эксперимента по получению нескольких партий личинок, сумма накопленных градусодней изменялась от 315 до 418. Из этого можно сделать следующие выводы:

- наиболее короткий период инкубации который составил 89 суток и наименьшее количество накопленных градусодней 315 оказались достаточ-

ными для полноценного эмбрионального развития, так как при дальнейшем подращивании личинки и выращивания малька не наблюдалось каких либо отклонений в развитии, темпах роста и повышенного отхода по сравнению с другими партиями.

- при увеличении периода инкубации до 130 суток, не смотря на 418 градусодней накопленных за этот период, массовое вылупление начиналось только после повышения температуры. Отклонений в развитии и повышенного отхода у личинок и мальков также не наблюдалось.

Сравнение роста двух партий сига показывает, что он был практически одинаков (Рисунок 39).

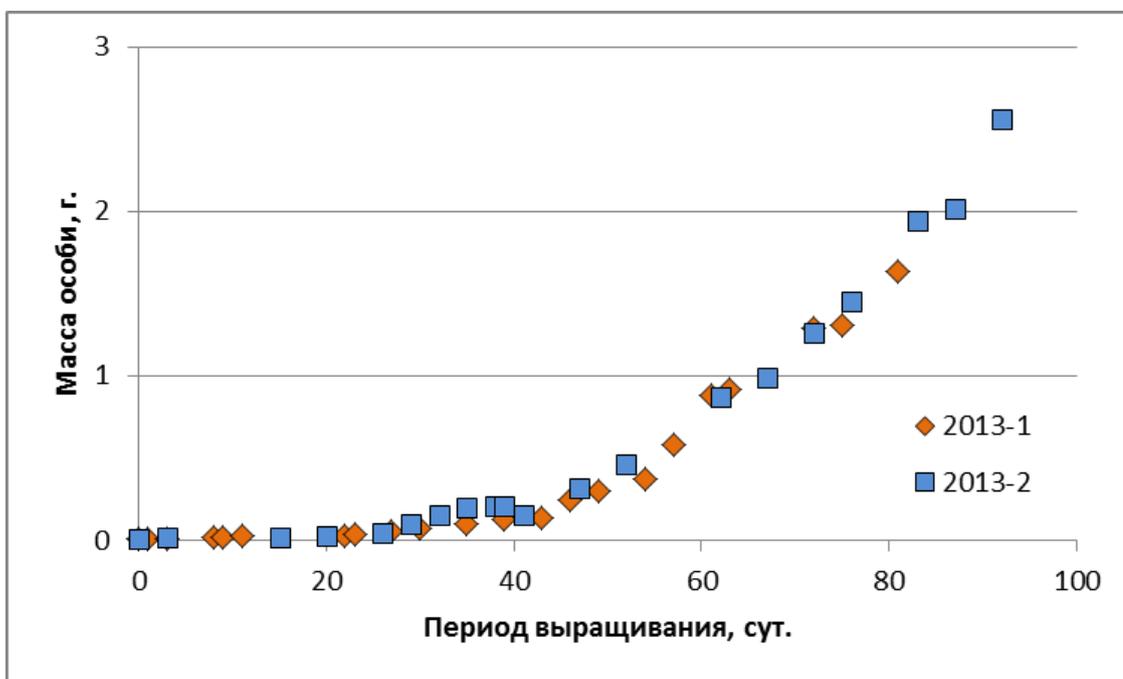


Рисунок 39 –Рост сига двух партий вылупления

Суммируя выше сказанное, можно утверждать о возможности дальнейшего увеличения сроков инкубации и получения большего количества партий личинки сига. В тоже время следует установить влияние более длительной задержки эмбрионального развития на личинку и малька сига впоследствии. В нашем случае ограничения накладывало существующее холодильное оборудование не способное выдерживать заданный температурный

режим воды в инкубационном отделении при повышении температуры в помещении в весенний период.

4.2.3 Эмбриональное развитие

Эмбриональный период развития балтийского сига состоит из семи этапов [53, 90, 91]. Каждый из которых характеризуется определенными признаками (Рисунок 40-41).

Первый этап – образование перивителлинового пространства и бластодиска - кратковременный, длился около шести суток.

Второй этап - дробление - заканчивается образованием бластулы. Продолжительность этапа - 6 суток.

Третий этап - гастрюляция. Когда обрастание дойдет приблизительно до 1/3 поверхности (на 12-20 сутки после оплодотворения).

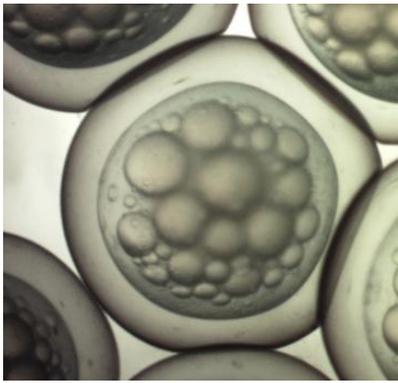
Четвертый этап – органогенез (образование зародышевого валика и появление зачатков органов), наступает на 18-23 сутки и продолжается от 5 до 7 суток.

Пятый этап – обособление хвостового отдела от желточного мешка, наступает на 20-30 сутки и продолжается от 5 до 8 дней.

Шестой этап - пигментация глаз и начало пульсации сердца начинается на 34-е сутки развития и продолжается 40 суток.

Выходом эмбриона из яйца начинается этап эндогенного периода развития.

Контроль эмбрионального развития осуществлялся постоянно в течение всего периода инкубации, что позволяло выявлять критические стадии эмбрионального развития, согласовывать проведения определенных технологических операции, и контролировать процент икры с нарушением эмбрионального развития.



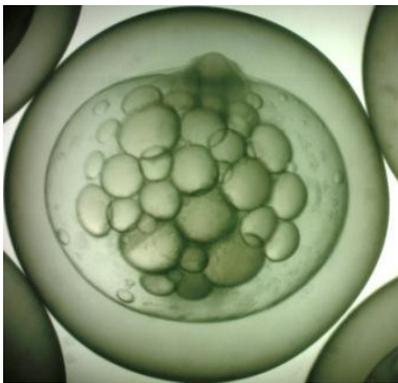
Образование бластулы
(возраст 10 суток)



Этап гастрюляции
(возраст 16 суток)



Образование
зародышевого валика
(возраст 18 суток)



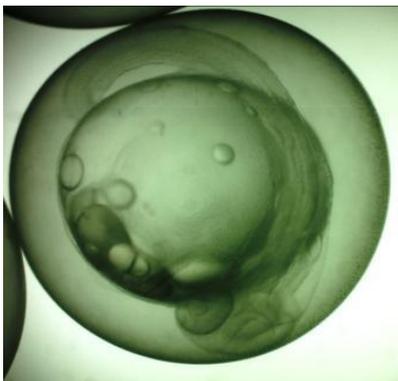
Образование
зародышевого валика
(возраст 21 суток)



Замыкание желточной
пробки
(возраст 29 суток)



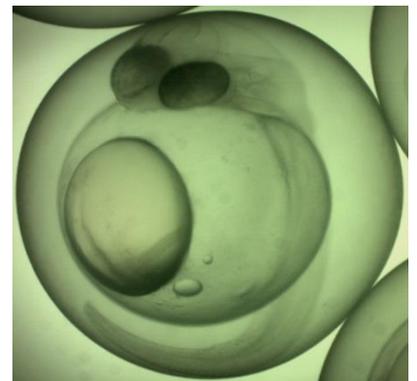
Замыкание желточной
пробки
(возраст 32 суток)



Замыкание желточной
пробки
(возраст 34 суток)

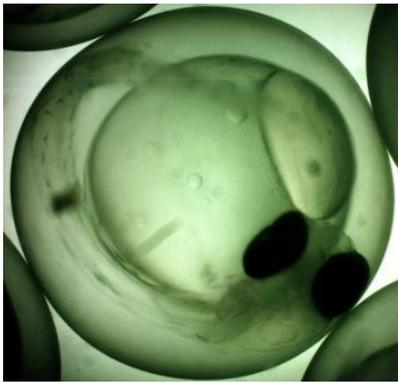


Пигментация глаз и
начало пульсации
сердца
(возраст 35 суток)

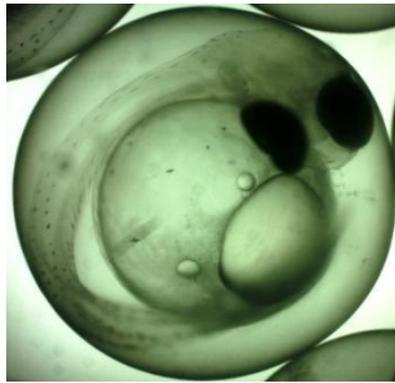


Пигментация глаз и
начало пульсации
сердца (возраст 43
суток)

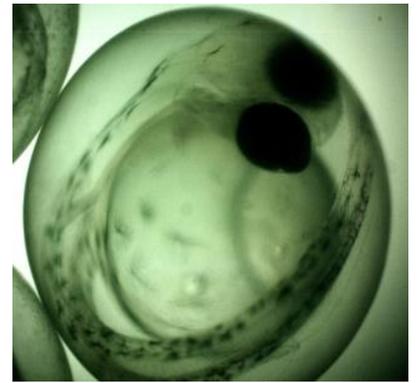
Рисунок 40 – Эмбриональное развитие сига (Часть 1)



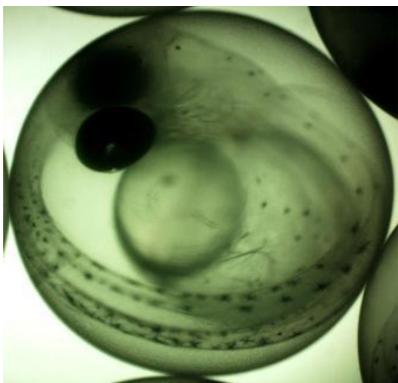
Пигментация глаз и
начало пульсации
сердца
(возраст 55 суток)



Пигментация глаз и
начало пульсации
сердца
(возраст 62 сутки)



Пигментация глаз и
начало пульсации
сердца
(возраст 69 сутки)



Начало вылупления
(возраст 70 сутки)



Конец вылупления
(возраст 87 суток)

Рисунок 41 – Эмбриональное развитие сига (Часть 2)

4.2.4 Вылупление предличинки

За 10-15 дней до предполагаемого вылупления начинался процесс по его подготовке, который происходил в двух отделениях цеха, инкубационным и личиночном, параллельно. Специфика этапа перехода от инкубации икры до выдерживания личинок в условия УЗВ заключается в следующем. Сиг, являясь холоднолюбивой рыбой, существенно осложняет условия эксплуатации биофильтра, поскольку эффективность его работы на холодной воде значительно снижена, а резкое изменение температуры биофильтра особенно в сторону ее понижения может привести к сбоям в работе биофильтра

и выходу из строя всего контура личиночного отделения [28]. Ввиду этого нами была разработана следующая методика перехода от этапа инкубации к этапу выдерживания личинки. За 10 дней до вылупления начинали поднимать температуру воды в контуре инкубационного отделения до 8°C , с градиентом $0,5^{\circ}\text{C}/\text{сутки}$ с целью стимуляции дружного вылупления и выравнивания температур воды в контурах инкубационного и личиночного отделений (Рисунок 42). В это же время температуру воды в личиночном отделении плавно с градиентом $0,5^{\circ}\text{C}/\text{сутки}$ снижали до температуры «подхвата» 9°C , с таким расчетом, что бы ко времени переноса личинки разница температур между инкубационным и личиночным отделениями не превышала $1-2^{\circ}\text{C}$, а время работы биофильтра при низких температурах было как можно короче. Благодаря температурной стимуляции вылупления, как правило, массовое вылупление проходило ночью в течение 3-5 суток, а все время вылупления не превышало 6-8 суток. По мере вылупления предличинку из накопительной емкости инкубационного отделения отчерпывали кружками и в тазах переносили в личиночное отделение, равномерно распределяя по бассейнам. Учет количества вылупившейся предличинки и посаженной в каждый бассейн личиночного отделения проводился по остаткам икры в аппаратах.

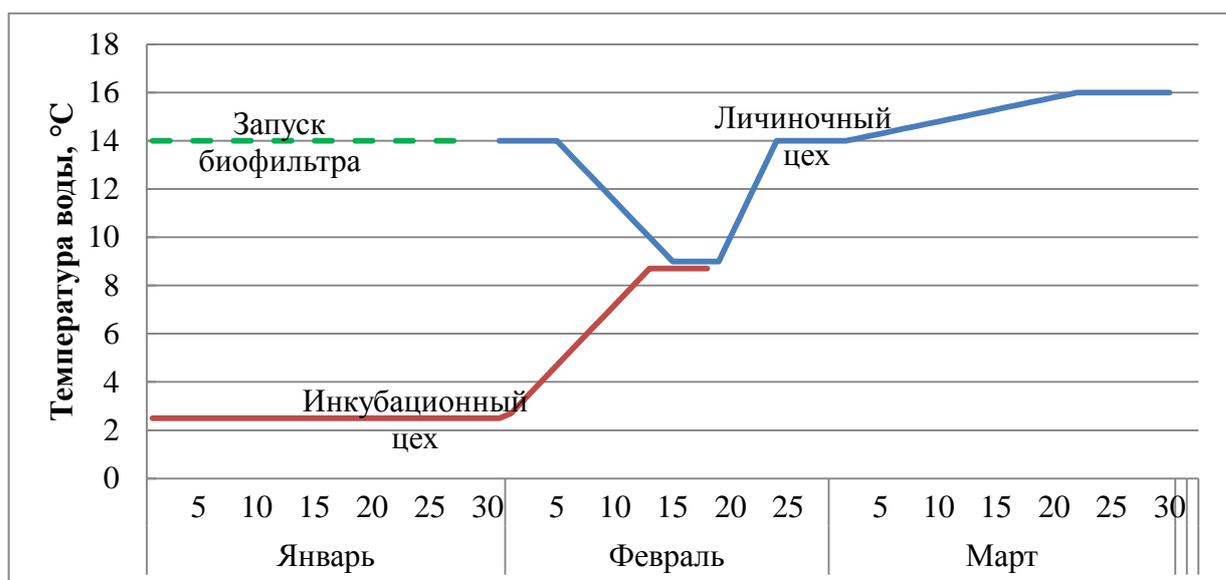


Рисунок 42 – Целевая функция динамики температуры в инкубационном и личиночном цехах

4.3 Выращивание личинок и подращивание мальков сига

4.3.1 Особенности выдерживания предличинок

Выдерживание предличинок и подращивания личинок сига в личиночном отделении цеха происходило в стеклопластиковых бассейнах SDK 07-02 объемом 0,9 м³. Бассейны были оснащены флейтой для подачи воды и индивидуальным сливом. Для слива воды применялся донный водослив, который был оборудован защитной решеткой с перфорированными отверстиями диаметром 1,2 мм, на начальных этапах выдерживания предличинок и подращивания личинок сига решетку обтягивали мельничным ситом № 10.

Для создания необходимой, согласно рыбоводным нормам, освещенности были применены люминесцентные светильники ELUX1P65 2x60 мощностью 120 Вт, по одному на два бассейна расположенные на высоте 2,2 м от поверхности воды. Световой период 14 часов.

Чистка бассейнов выполнялась два раза в сутки утром и вечером, в случае ухудшения гидрохимических показателей воды количество чисток увеличивали до четырех. Для чистки применялись сифоны, состоящие из пластмассовой трубки диаметром 18-20 мм длиной 1,2-1,5 м, один конец которой срезали под углом 45°, а на другой надевали шланг, конец которого опускали в ведро. Трубкой со дна бассейна собирали остатки корма, экскременты и погибших личинок которые накапливались в ведре. После окончания чистки отстой в ведре промывали, подсчитывали количество погибших личинок [35].

Выдерживание предличинок и подращивание личинок сига условно можно разделить на два этапа:

- выдерживание предличинок и последующее подращивание личинок до навески 40-50 мг. Основной целью этого этапа является переход на питание сухими стартовыми кормами и обеспечение устойчивого роста личинок;

- подращивание до навески 300 мг, В этот период происходит полный переход на внешнее питание, заканчивается формирование органов и личинка приобретает вид малька.

4.3.2 Подращивание до навески 40-50 мг

За шесть лет проведения работ по искусственному воспроизводству сига при переводе личинки на питание сухими стартовыми кормами нами были опробованы различные схемы кормления:

- артемия 3 дня, (артемия + Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм) 3 дня, далее Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм;

- Aller ArtEx 0.15-0.4 мм 5 дней, (Aller ArtEx 0.15-0.4 мм + Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм) 5 дней, далее Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм;

- артемия 3 дня, (артемия + Aller ArtEx 0.15-0.4 мм) 5 дней, (Aller ArtEx 0.15-0.4 мм + Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм) 5 дней, далее Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм;

- артемия 3 дня, (артемия + Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм) 10 дня, далее Aller Futura Larvae EX 0,2-0,3 мм;

Наихудший результат был получен при кормлении Aller ArtEx без артемии, наилучший при продолжительном совместном кормлении артемией и Aller Futura Larvae EX, более подробно описанный ниже.

В качестве живых кормов применяли науплии артемии, кормление начинали на 2-3 сутки выдерживания личинки сига, после пересадки личинки в личиночное отделение при температуре воды 9-10°C, начальный суточный рацион составлял 3-5 % от ихтиомассы [12, 42]. При кормлении наблюдали за степенью наполнения желудков у личинки и остатками не съеденного корма на дне бассейнов, исходя из этого, постепенно увеличивали суточный рацион. На 5-6 сутки вместе с артемией начинали давать стартовый корм Aller Future Larvae EX 0,2-0,3 мм, за счет которого происходило дальнейшее увеличение суточного рациона кормления. На 10-12 сутки суточный рацион кормления увеличивали до 10-15% с учетом живых и сухих кормов в сумме,

температура воды в это время составляла 12-14°C. Совместное кормление артемией и стартовым кормом Aller Futura Larvae EX продолжали в течение 10 суток, до 15-16 суток подращивания, после чего кормление артемией заканчивали. К этому моменту температура воды как правило составляла 14-15°C, навеска личинки сига находилась в пределах 20-25 мг (Рисунок 43). С 18-20 суток подращивания начинали снижать суточный рацион с 10-15% до 5-6% к моменту достижения навески 40-50 мг на 23-27 сутки. Кормление на протяжении этого этапа осуществлялось в ручном режиме, периодичность кормления увеличивалась от 4 раз в течение светового дня в начале этапа, до кормления с периодичностью каждые 30-45 минут начиная с 7-8 суток. Продолжительность этапа выращивания от навески 0,008 мг до 0,05 составляла 23-27 суток (Таблица 13).

Таблица 13 – Рыбоводно-биологическая характеристика выращивания личинок сига до 0,05 г

Параметр	Значение
Начальная масса личинки, г	0,008-0,009
Продолжительность выращивания, сут	23-27
Начальная плотность посадки, тыс. шт/м ³	35-55
Начальная плотность посадки, кг/м ³	0,3 - 0,5
Суточный рацион корма, % от ихтиомассы	5-15
Температурный режим, °С	10-16
Оптимальная температура, °С	15 (после 15-16 суток подращивания)
Содержание кислорода, мг /л	7,0-11,0
Кормление артемия, Aller Futura Larvae EX размер фракции, мм	0,2-0,3
Конечная масса личинки, г	0,04 – 0,05
Конечная плотность посадки, тыс. шт/м ³	30-50
Конечная плотность посадки, кг/м ³	1,4 - 2,3
Выход, %	85

Характерной особенностью данного этапа являлось следующее. При описанном температурном режиме полное рассасывание желточного мешка происходило на 6-10 сутки выдерживания. С этого момента начинался переход личинки на питание живыми и сухими кормами. А впоследствии только

сухими кормами. Важными факторами, обеспечивающими высокую выживаемость личинки, на данном этапе явились:

- визуальный контроль за поедаемостью корма и наполнением желудков личинок;

- максимально быстрый, но согласованный с биотехникой выращивания сига подъем температуры в УЗВ личиночного отделения, который в свою очередь способствовал, как лучшей усвояемости личинкой сухих кормов, так и более эффективной работе системы водоочистки;

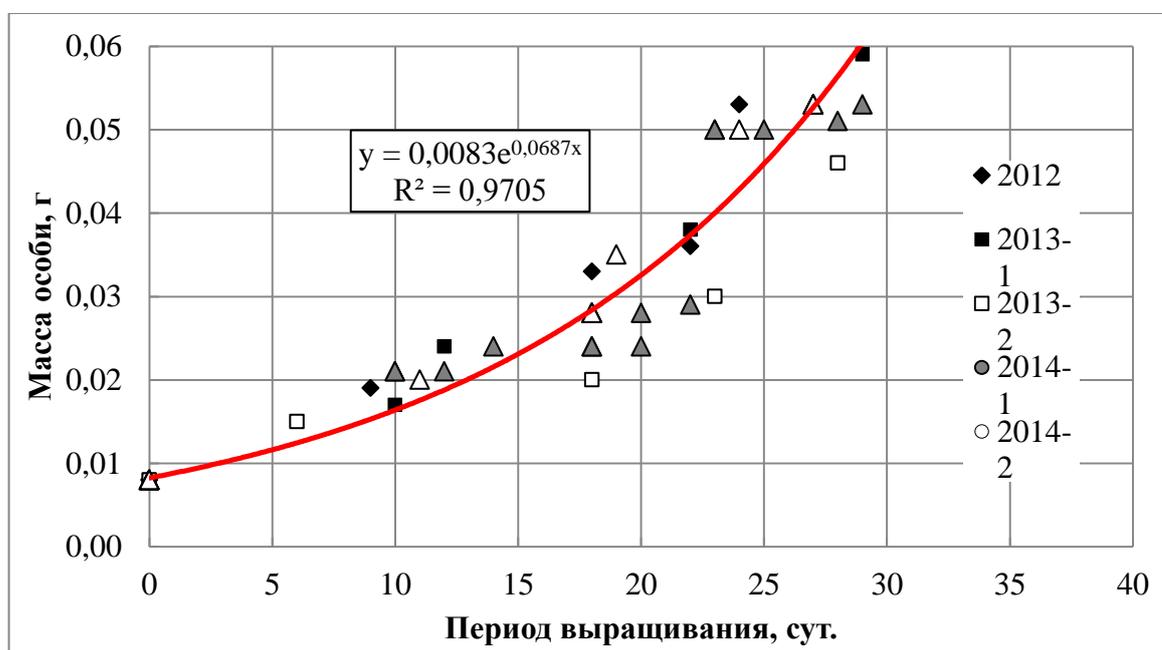


Рисунок 43 - Рост личинки при выращивании до навески 0,05 г

- жесткий контроль гидрохимических показателей воды в УЗВ, поскольку на данном этапе личинка сига очень требовательна к условиям содержания. Здесь следует отметить, что помимо собственно оценки гидрохимических показателей воды важным является наблюдение за поведением рыбы. Как установлено даже незначительное увеличение аммонийного или нитритного азота приводила к замедлению или полному исчезновению у личинки реакции на внешние раздражители.

После достижения навески 40-50 мг, в случае выращивания первой партии, личинку переносили в УЗВ малькового отделения, а личиночное отделение готовили к приему второй партии. В случае подращивания второй партии, личинку оставляли в личиночном отделении для дальнейшего подращивания до навески 300 мг.

4.3.3 Подращивание до навески 300 мг

После того как личинка сига достигала навески 40-50 мг, переходили на корм Aller Futura Larvae EX с размером фракции 0,3-0,5 мм, для кормления использовали автоматические кормушки с двенадцати часовым режимом работы. В целях выдерживания суточного рациона на уровне 4% от ихтиомассы без ухудшения гидрохимических показателей воды, по достижению навески 0,10-0,13 мг которая приходилась на 34-37 сутки подращивания (Рисунок 44), часть личинок сига полученных от первой партии вылупления переносили в бассейны малькового отделения, уменьшая плотности посадки до 11,0-13,5 тыс. шт/м³.

Данная величина рассчитана исходя из предельной нагрузки на био-фильтр (Таблица 14). При подращивании второй партии, личинку оставляли в личиночном отделении до конца этапа, поскольку все бассейны малькового отделения в этот период, как правило, были заняты.

Перенос личинки в мальковое отделение происходил по мере освобождения бассейнов с началом поэтапного выпуска молоди полученной от первой партии вылупления в Куршский залив. Поддержание гидрохимических показателей воды на приемлемом уровне в этом случае происходило за счет изменения суточных рационов кормления.

Температуру воды в УЗВ продолжали плавно поднимать до оптимальных на данном этапе значений 17-18°C. Продолжительность этапа составляла 25-30 суток.

Характерной особенностью данного этапа являлся полный переход на внешнее питание по мере рассасывания жировой капли, который при описываемом температурном режиме наступал на 35-40 сутки подращивания личинки.

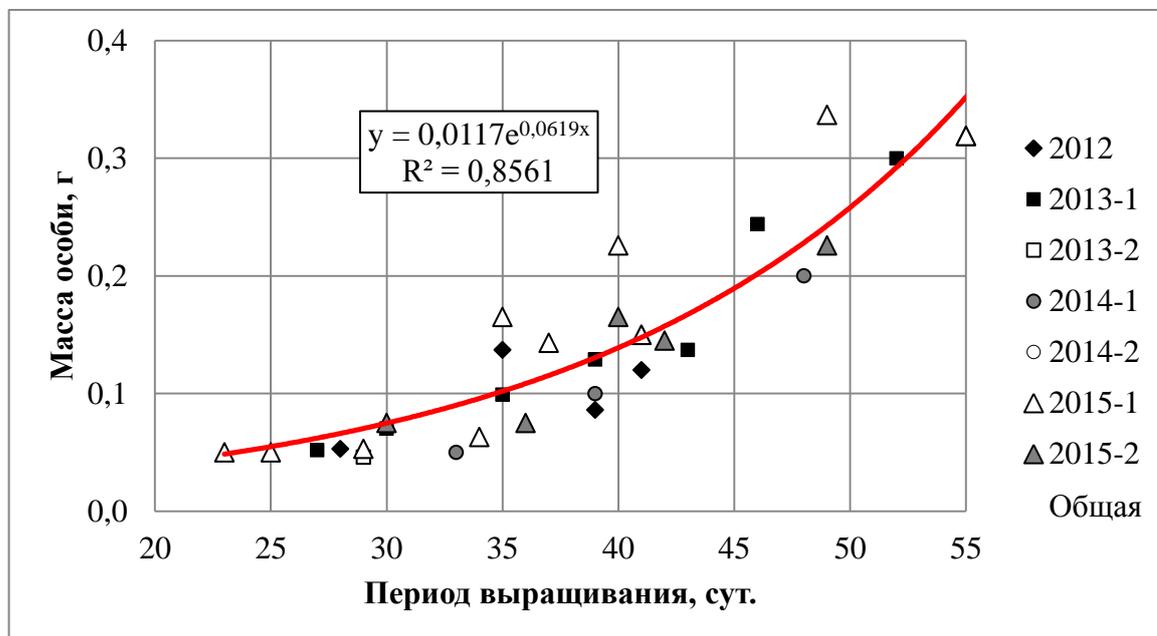


Рисунок 44 – Рост личинки при выращивании от 0,05 до 0,30 г

Таблица 14 – Рыбоводно-биологическая характеристика выращивания личинок сига до 0,3 г

Параметр	Значение
Начальная масса личинки, г	0,04-0,05
Продолжительность выращивания, сут.	25-30
Начальная плотность посадки, тыс. шт./м ³	30 - 50
Начальная плотность посадки, кг/м ³	1,4-2,3
Суточный рацион корма, % от ихтиомассы	4-5
Температурный режим, °С	15 - 18
Оптимальная температура, °С	17-18
Содержание кислорода, мг /л	7,0 – 11,0
Кормление Aller Futura Larvae EX размер фракции, мм	0,3-0,5
Конечная масса личинки, г	0,25-0,30
Конечная плотность посадки, тыс. шт./м ³	11,0-13,5
Конечная плотность посадки, кг/м ³	3,0- 3,7
Выход, %	85

Факторы, обеспечивающие высокую выживаемость личинки на данном этапе в основном те же, что и на предыдущем, за исключением того, что по мере роста пигментация личинки увеличивается, визуальное наблюдение за степенью наполнения желудка затрудняется и со временем становится не возможным.

4.3.4 Выращивание мальков сига до навески более 2 г

Выращивание мальков сига до навески двух и более грамм проводили в двух независимых УЗВ малькового отделения, оснащенных по шесть бассейнов объемом 2 м³ каждое. Начальная плотность посадки составляла 11-13,5 тыс. шт/м³ (Таблица 15). Суточный рацион кормления 2-4% от ихтиомассы. Кормление производилось автоматическими кормушками с 12 часовым режимом работы. Оптимальная температура выращивания 18°C. Продолжительность этого этапа составляла 40-55 суток (Рисунок 45).

Поскольку молодь сига на данном этапе является уже достаточно сформировавшейся и жизнестойкой, хорошо потребляет и усваивает стартовые и продукционные экструдированные корма, факторы, влияющие ее на выживаемость по сравнению с первым и вторым этапами совершенно другие.

По мере роста молоди сига отрицательным фактором, влияющим на темпы роста отдельных особей и их выживаемость, является увеличивающаяся вариабельность по массе. Что влечет за собой изменение в поведении рыб. Фактически в бассейнах наблюдается следующая картина. Верхний горизонт и место около кормушки занимают наиболее крупные особи, которым достается основная масса корма. На средней глубине держатся менее крупные особи, которым достается значительно меньше корма. У дна бассейна находятся самые мелкие, корм до которых практически не доходит, что со временем приводит их к гибели. Эта ситуация усугубляется по мере увеличения плотностей посадки [40, 41, 67].

Таблица 15 – Рыбоводно-биологическая характеристика выращивания малька сига до навески более 2 г

Параметр	Значение
Начальная масса личинки, г	0,25-0,30
Продолжительность выращивания, сут.	40-55
Начальная плотность посадки, тыс. шт./м ³	11,0-13,5
Начальная плотность посадки, кг/м ³	3,0- 3,7
Суточный рацион корма, % от ихтиомассы	2-4
Температурный режим, °С	17-19
Оптимальная температура, °С	18
Содержание кислорода, мг /л	7,0 – 11,0
Кормление Aller Futura Larvae EX размер фракции, мм	0,5-1,2
Конечная масса личинки, г	2,0-2,2
Конечная плотность посадки, тыс. шт./м ³	1,8-3,6
Конечная плотность посадки, кг/м ³	3,7- 7,5
Выход, %	90

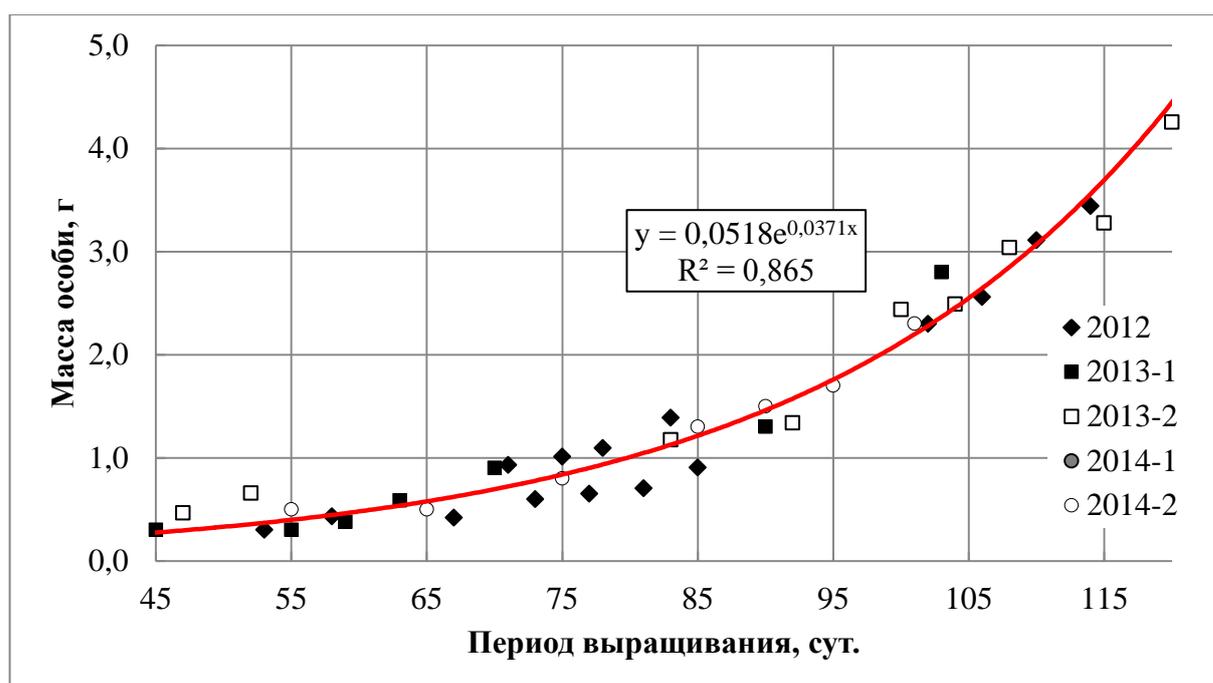


Рисунок 45 – Рост малька при выращивании от 0,3 г

С целью уменьшения вариабельности по массе, увеличения темпов роста и выживаемости молоди сига нами применялась сортировка, и пересадка по бассейнам молоди с близкими размерно-весовыми показателями. Для сортировки применялись сортировальные ящики с гребенками 3, 4 и 5 мм. Заме-

тим, именно этот факт затрудняет исследование индивидуального роста молоди. После сортировки определяли ихтиомассу молоди в каждом бассейне, навеску и вычисляли количество.

По мере достижения плановой навески, проводилась сортировка, подсчет количества и выпуск молоди с навеской более 2 г в Куршский залив.

4.3.5 Выпуск подрощенной молоди сига в Куршский залив

Выпуск молоди сига начинали после того, как она достигала навески более 2,0 г. Первый выпуск молоди в залив производили в мае, последующие выпуски – регулярно каждые 10 суток.

Молодь сига просчитывали, помещали в полиэтиленовые мешки, которые на 2/3 заполнялись кислородом и транспортировали к местам естественного нагула, где выпускали в прибрежной зоне.

Для того чтобы не привлекать хищников места выпуска молоди время от времени меняли.

В результате работы экспериментального рыбоводного цеха в 2009 г. было выпущено сто двадцать тысяч личинок навеской 0,3 г, в 2010 г. был проведен выпуск молоди в четыре этапа через десять дней. Количество выпущенной молоди составило 224 тыс. шт. В 2011 г. по такой же схеме был произведен выпуск молоди в количестве 190 тыс. шт.

4.3.6 Выживаемость личинок и молоди сига при выращивании в условиях УЗВ

Выживаемость рыб является важнейшим параметром при выполнении работ по воспроизводству. Так как условия выращивания УЗВ полностью контролируются, то выживаемость в основном зависит от возраста и от критических стадий развития. Смертность (отход) Φ_M есть величина обратная выживаемости S . и может быть рассчитана как $\Phi_M = 1 - S$.

Используя многолетние данные, нами построена кривая смертности возраста личинок и молоди (Рисунок 46). Несмотря на очень высокую вариабельность данного признака, нам удалось установить некоторую закономерность его динамики. Наибольший суточный отход (3-4%) наблюдается на 18-22 сутки выращивания и совпадает по времени с периодом полного рассасывания жировой капли. Второй пик отхода (0,5-1,2%), хотя и меньшего по величине, приходится на 40-50-е сутки и зависит от многих факторов, одним из которых является обостряющаяся пищевая конкуренция, связанная, в свою очередь, с увеличивающейся вариабельностью массы подращиваемой молоди. Для снижения величины отхода в этот период проводится сортировка и уменьшение плотностей посадки при наличии свободных бассейнов.

В последующем величина отхода суточного отхода с возрастом непрерывно снижается, и у старших рыб не превышает нескольких сотых долей процента. Учитывая, что кривая смертности в дальнейшем необходима для построения модели технологического процесса нами проведен регрессионный анализ зависимости возраст-суточный отход только для нисходящей части кривой (Рисунок 47). Установлено, что данная зависимость хорошо описывается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции $R=0,95$.



Рисунок 46 – Зависимость смертности (отхода) личинок и молоди сига от возраста

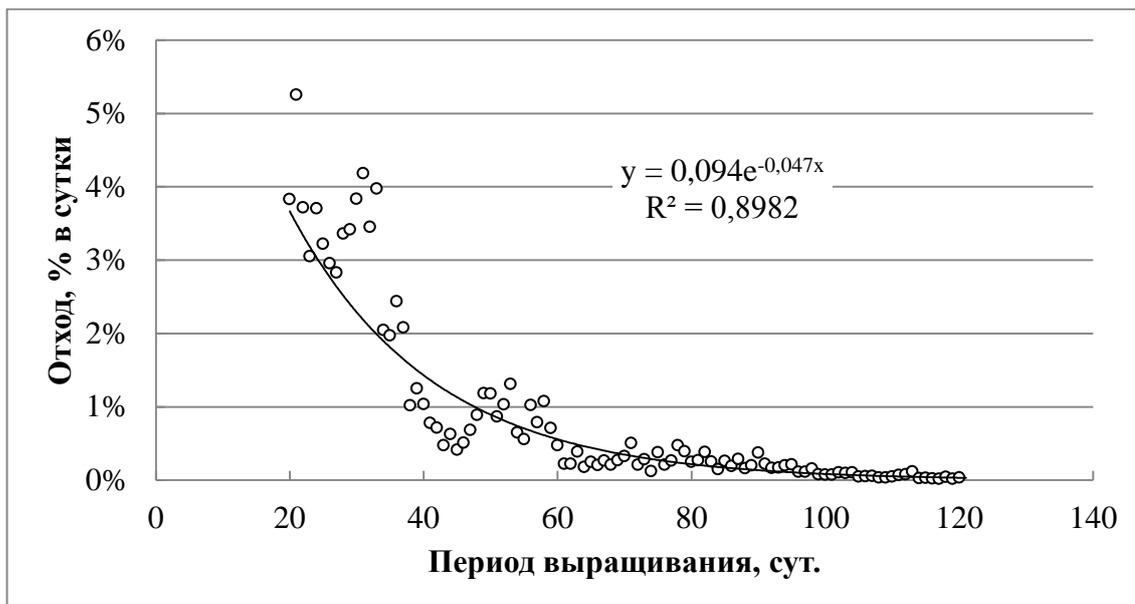


Рисунок 47 – Регрессионный анализ зависимости смертности (отхода) от возраста

4.3.7 Общие закономерности роста сига в УЗВ

Полученные результаты выращивания сига в УЗВ на различных этапах онтогенеза позволяют подойти к выявлению общей закономерности роста, которая может быть использована для рыбоводных расчетов, в том числе при планировании различных схем выращивания. Например, оценки возможных результатов функционирования предприятия при варьировании сроков получения двух и более партии личинок, или изменения плановых показателей навески выпускаемой молоди. Схема исследований заключалась в следующем:

- учитывая, что в отдельные годы выращивание проводилось в разные сроки, регулярно осуществлялась пересадка рыб из одного бассейна в другой, сортировка, которая приводила к смешению рыб одинаковых по массе из разных бассейнов, чего невозможно избежать в условиях производственного процесса, наиболее надежным показателем роста являлись два параметра, достигнутая масса и соответствующий ей весовой прирост. Как было показано

выше, скорость весового прироста закономерно изменяется в зависимости от этапов выращивания. Так коэффициент скорости экспоненциального роста для личинок массой до 0,05 г составил 0,0687 (Рисунок 43), для личинок массой от 0,05 до 0,3 г – 0,0619 (Рисунок 44), для мальков массой от 0,3 до 2 г – 0,0371 (Рисунок 45). Как видно очень хорошо проявляется две закономерности, во-первых хорошая аппроксимация скорости весового роста экспоненциальной функции с коэффициентом корреляции 0,93-0,99; во-вторых проявляется общебиологическая закономерность снижения темпов роста рыбы с возрастом. Это свидетельствует о том, что не возможно описать индивидуальный рост даже в течение первого года жизни одним экспоненциальным уравнением. Нужна более сложная функциональная зависимость.

- весь массив данных по результатам выращивания (6720 записей) за период 2012-2015 гг. был сгруппирован по признаку год, бассейн, дата и навеска и рассчитаны среднесуточные приросты как функция массы особи. Регрессионный анализ показал, что между двумя этими показателями существует обратная зависимость, которая хорошо описывается логарифмической функцией вида

$$P = 0.0361 - 0.013 \ln W \quad (7)$$

где: P – суточный прирост, %; W – масса особи, г

Коэффициент корреляции составил R=0,96, что свидетельствует о функциональной связи (Рисунок 48).

- принято, что на коротком интервале времени скорость весового роста C_w может рассматриваться как константа и тогда весовой рост будет описываться как экспоненциальная функция вида

$$W = W_0 e^{C_w t} \quad (8)$$

Данная зависимость позволяет оценить коэффициент удельной скорости роста как

$$C_w = \frac{\ln \frac{W_2}{W_1}}{t_2 - t_1}, \quad (9)$$

где: W_1, W_2 - масса особи в момент времени t_1, t_2 .

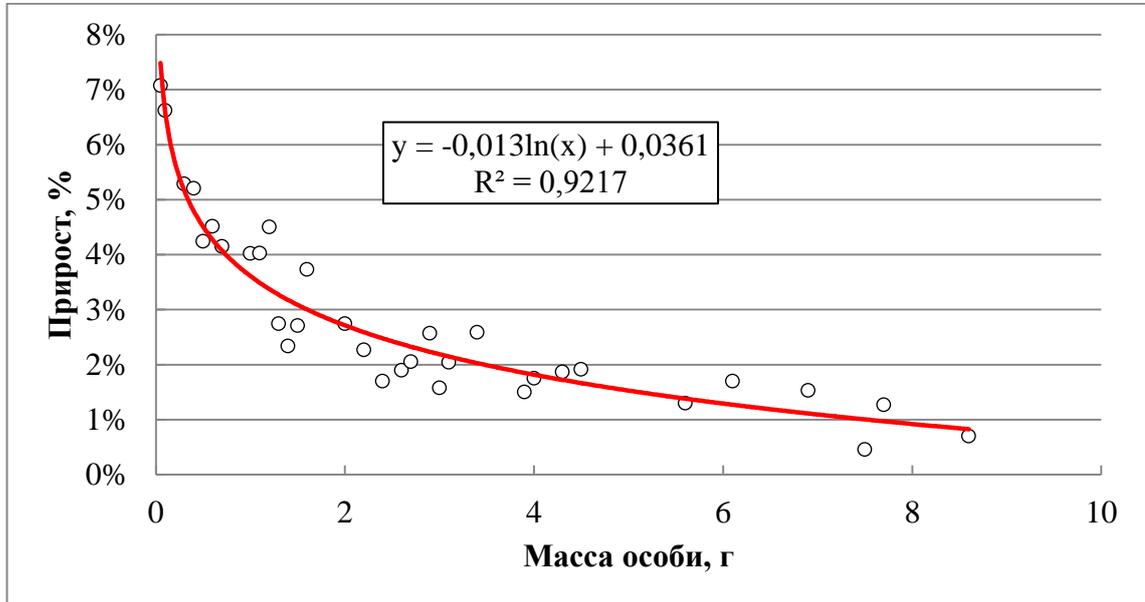


Рисунок 48 – Зависимость относительного прироста от массы особи

Полученные коэффициенты удельной скорости роста были так же аппроксимированы логарифмической функцией и показали четкую зависимость от массы особи при коэффициенте корреляции $R=0,96$ (Рисунок 49).

Используя начальную навеску особи 0,008 г, нами было построена кусочно-экспоненциальная модель роста с интервалом времени равным пяти дням вида:

$$W_{t_2} = W_{t_1} e^{C_w(t_2-t_1)} \quad (10)$$

Здесь C_w – удельная скорость роста, зависящая от достигнутой массы особи, которая находилась по логарифмическому уравнению (Рисунок 49). В численном виде уравнение имеет вид:

$$W_{t_2} = W_{t_1} e^{(-0,012 \ln(W_{t_1}) + 0,0353)(t_2-t_1)} \quad (11)$$

Как видно (Рисунок 50), теоретическая кривая достаточно точно описывает фактически наблюдаемые данные по массе особи на различных этапах выращивания. Ошибка аппроксимации составляет 11%.

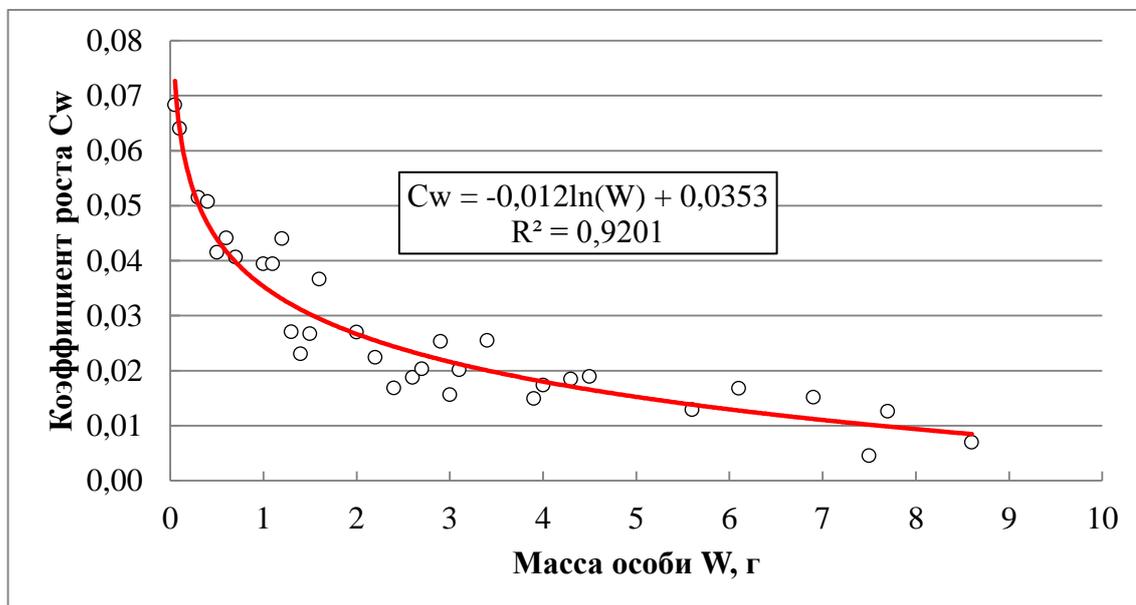


Рисунок 49 – Зависимость удельной скорости роста от массы особи

Недостатком кусочно-экспоненциальной модели является то, что для определения массы особи в любой момент времени необходимо проводить последовательные вычисления от начального возраста. В связи с этим мы попытались аппроксимировать данные полученные с помощью кусочно-экспоненциальной модели уравнением Берталанфи:

$$W = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad (12)$$

Методом наименьших квадратов получены следующие значения коэффициентов:

$$W = 174,6(1 - e^{-0,0026(t+9,2)})^3 \quad (13)$$

Как оказалось, это уравнение также удовлетворительно описывает первичные данные, хотя и с несколько меньшей точностью. Ошибка аппроксимации составила 17%. Это вполне понятно, так как экспоненциальное уравнение более гибкое, чем уравнение Берталанфи.

Следует обратить внимание на численные значения полученных коэффициентов. Предельная масса $W_{\infty}=174,6$ г конечно не отражает потенциал роста сига в целом. Это просто асимптота уравнения, оцененная по фактическим данным, о росте в течение одного года. Вместе с тем, полученное уравнение правильно отражает динамику весовых показателей и факт замедления роста рыбы с возрастом и может использоваться для моделирования биотехнических процессов.

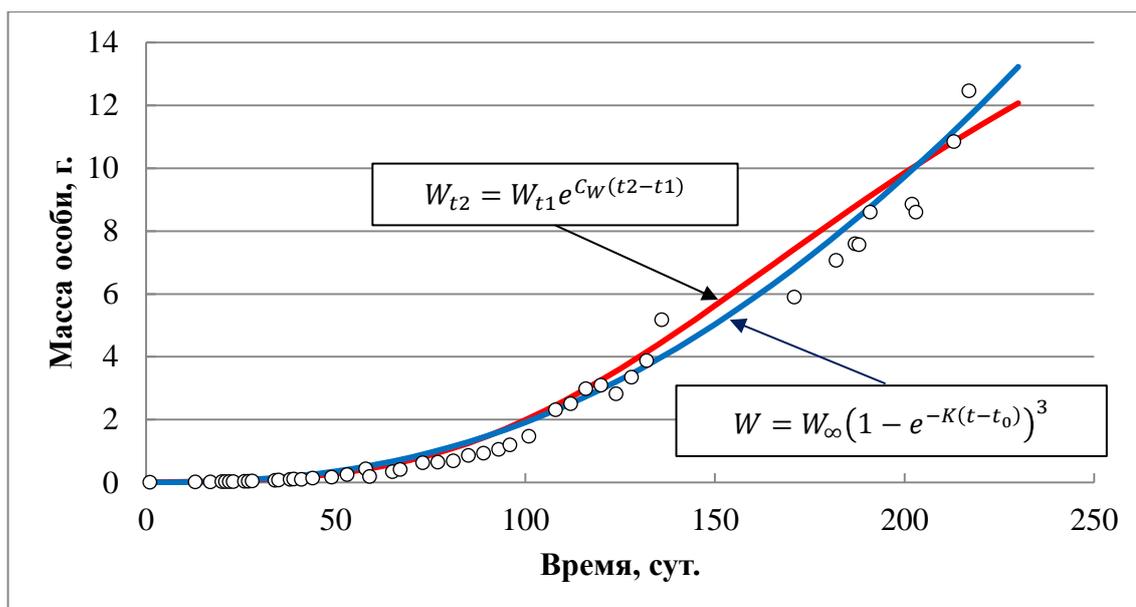


Рисунок 50 – Теоретическая кривая и эмпирические точки весового роста сига в условиях УЗВ

4.4 Общая характеристика технологического оборудования Экспериментального рыбоводного цеха

Экспериментальный рыбоводный цех введен в эксплуатацию 2009 г. и выполняет работу по искусственному воспроизводству сига, с подрашиванием молоди до навески 2-10 г и выпуском в Куршский залив Балтийского моря. Проектная мощность цеха – 0,150 млн. шт. подрошенной молоди.

Технологическая схема работы Экспериментального рыбоводного цеха включает в себя следующие этапы:

- отлов и выдерживание производителей сига (ноябрь-декабрь);
- получение и оплодотворение икры, подготовка икры к инкубации (ноябрь-декабрь);

- инкубация икры (ноябрь-март);
- выдерживание предличинок и подращивание личинок до 300 мг (февраль-апрель);
- выращивание мальков до навески 2г. (март-июнь);
- выпуск молоди с навеской от 2г. в Куршский залив (май-июнь);
- выращивание сеголеток до навески 10г. (июнь-сентябрь);
- выпуск сеголеток с навеской до 10г. (июль – сентябрь);
- подготовка технологического оборудования к следующему циклу работ (сентябрь-октябрь).

Экспериментальный рыбоводный цех включает в себя:

- Участок по выдерживанию производителей сига;
- Инкубационное отделение с оборотной системой водоснабжения, оснащенное бактериологической системой очистки, в состав которого входят 20 аппаратов Вейса, объемом 8 литров каждый;
- Личиночное отделение, оснащенное установкой замкнутого водоснабжения с биологической и бактериологической системой очистки, в состав которого входят 6 стеклопластиковых бассейна 0,9 м³ каждый;
- Мальковое отделение, оснащенное двумя независимыми установками замкнутого водоснабжения с механической и биологической системой очистки, в состав каждой из которых входит по 6 стеклопластиковых бассейнов, объемом 2м³ каждый.

4.4.1 Участок по выдерживанию производителей сига

На участке производится преднерестовое выдерживание производителей. Участок находится на открытой площадке, примыкающей к торцевой части помещения Экспериментального рыбоводного цеха. Участок включает в себя: 6 стеклопластиковых бассейнов, объемом 2м³ каждый; 1 биофильтр, объемом 5,5 м³; 1 оксигенатор; 2 центробежных насоса (основной и резервный) мощностью по 0,65 кВт; 1 погружной насос производительностью 400

л/мин. В режиме работы участка по выдерживанию производителей сига используется обратная система водоснабжения по следующей схеме:

- артезианская вода, предварительно прошедшая через станцию обезжелезивания, поступает в бассейн-накопитель в качестве которого используется бассейн номер 6, установленный ниже нулевых отметок других бассейнов участка;

- с помощью погружного насоса, установленного в бассейне-накопителе, осуществляется закачка воды в рабочие бассейны участка;

- вода из рабочих бассейнов самотеком поступает в бассейн-накопитель.

Далее вода циркулирует в режиме обратного водоснабжения по вышеуказанной схеме с подпиткой артезианской водой (по потребности).

4.4.2 Инкубационное отделение

В инкубационном отделении осуществляются следующие рыбоводные этапы: получение и оплодотворение икры; подготовка икры к инкубации; инкубация икры; вылупления и скат личинки в накопительную емкость.

Отделение расположено в помещении цеха и включает в себя следующее технологическое оборудование: 2 инкубационные стойки по 10 аппаратов Вейса, объемом 8 литров каждый; нижний и верхний накопительные емкости, объемом 4 м³ каждая; 2 стеклопластиковых бассейна (накопители личинок); 1 установка УФО (ультрафиолетового обеззараживания); 2 водоохладителя по 2 кВт каждый; 1 погружной насос производительность 40 л/мин; 2 центробежных насоса мощностью 0,37 кВт. Работа технологического оборудования инкубационного отделения осуществляется в режиме обратного водоснабжения по следующей схеме:

- артезианская вода, предварительно прошедшая через станцию обезжелезивания, поступает в нижнюю накопительную емкость (при первоначальном заполнение системы);

- вода из нижней накопительной емкости с помощью основного насоса поступает на водоохладитель;

- из водоохладителя вода подается на верхнюю накопительную емкость;

- из верхней накопительной емкости вода самотеком подается на установку УФО;

- из установки УФО вода самотеком подается в инкубационные аппараты. Водообмен в аппаратах регулируется кранами, которыми оснащен каждый аппарат;

- вода из инкубационных аппаратов по сливному лотку поступает в бассейн-накопитель личинок;

- из бассейна-накопителя личинок вода самотеком поступает в нижнюю накопительную емкость.

Далее вода циркулирует в режиме оборотного водоснабжения по вышеуказанной схеме с подпиткой артезианской водой (по потребности). По мере вылупления и накопления предличинок в бассейне-накопителе они переносятся в личиночное отделение.

4.4.3 Личиночное отделение

В личиночном отделении осуществляются следующие рыбоводные этапы: выдерживание предличинок и подращивание личинок до 300 мг.

Отделение расположено в помещении цеха и включает в себя следующее технологическое оборудование: 6 стеклопластиковых бассейнов, объемом 0,9 м³ каждый; 1 биофильтр, объемом 5,5 м³; 1 оксигенатор; 2 центробежных насоса (основной и резервный) мощностью 0,65 кВт, 2 установки УФО (ультрафиолетового обеззараживания), накопительную емкость; систему подогрева технологической воды.

В режиме работы личиночного отделения по выдерживанию и подращиванию личинки используется замкнутая система водоснабжения по следующей схеме:

- артезианская вода, предварительно прошедшая через станцию обезжелезивания, поступает в накопительную емкость;

- в накопительной емкости осуществляется подогрев технологической воды, с помощью теплообменника;

- центробежным насосом, вода из накопительной емкости закачивается в биофильтр;

- из биофильтра вода самотеком поступает на оксигенатор, в котором вода насыщается кислородом;

- из оксигенатора насыщенная кислородом вода проходит через установки УФО и подается в бассейны. Водобмен в бассейнах регулируется с помощью индивидуальных кранов, в зависимости от плотности посадки, рациона кормления и пр.;

- вода из рабочих бассейнов самотеком поступает в накопительную емкость.

Далее вода циркулирует в режиме замкнутого водоснабжения по вышеуказанной схеме с подпиткой артезианской водой (по потребности).

4.4.4 Мальковое отделение

В мальковом отделении осуществляются следующие рыбоводные этапы: выращивание мальков до навески 2г.; выращивание сеголеток до навески 10г. Отделение расположено в помещении цеха и включает в себя следующее технологическое оборудование: 12 стеклопластиковых бассейнов, объемом 2 м³ каждый; 2 биофильтра, объемом по 5,5 м³; 2 оксигенатора; 2 центробежных насоса (основной и резервный) мощностью 0,65 кВт, 2 накопительные емкости, 2 микрофильтра механической очистки воды; 2 контура подогрева технологической воды.

Мальковое отделение состоит из 2 замкнутых отдельных контуров с равным набором оборудования. В режиме работы малькового отделения по подращиванию молоди используется замкнутая система водоснабжения по следующей схеме:

- артезианская вода, предварительно прошедшая через станцию обезжелезивания, поступает в накопительную емкость;

- в накопительной емкости осуществляется механическая очистка воды с помощью микрофильтров и подогрев технологической воды теплообменником;

- с помощью центробежного насоса вода из накопительной емкости закачивается в биофильтры;

- из биофильтров вода самотеком поступает на оксигенаторы, в которых вода насыщается кислородом;

- насыщенная кислородом вода поступает в рабочие бассейны. Водобороз в бассейнах регулируется с помощью индивидуальных кранов, в зависимости от плотности посадки, рациона кормления и пр.;

- вода из рабочих бассейнов самотеком поступает обратно в накопительную емкость.

Далее вода циркулирует в режиме замкнутого водоснабжения по вышеуказанной схеме с подпиткой артезианской водой (по потребности).

4.4.5 Рыбоводные нормативы для выращивания сига Куршского залива в условиях УЗВ

Проектирование рыбоводного предприятия было начато в середине 90-х гг. В то время отсутствовала биотехника выращивания сига в УЗВ и с целью разработки рыбоводных нормативов АтлантНИРО под руководством А.В. Гущина были проведены экспериментальные работы по отработке биотехники. В результате этих исследований были разработаны временные биотехнические нормативы по выращиванию сига в установках замкнутого водоснабжения [20, 21, 60]. Эти рекомендации были положены в основу при разработке рыбоводно-биологического обоснования по воспроизводству сига Экспериментальным рыбоводным цехом. В тоже время данные работы проводились в небольшой установке с неэффективной системой биологической очистки, которая накладывала ряд ограничений на условия проведения экс-

периментов по таким параметрам как: плотность посадки, температурный режим, режим кормления и ряд других. Впоследствии полученные данные пересчитывались для УЗВ промышленного масштаба. Вследствие этого многие значения параметров, вошедших во временные нормативы, были не совсем корректны. Так же со времени проведения описанных исследований до момента ввода в эксплуатацию Экспериментального рыбоводного цех прошло более 20 лет. За этот период произошли существенные изменения в нерестовом стаде сига Куршского залива.

Имеющийся на данный момент шести летний опыт по воспроизводству сига Куршского залива, проведенные в этот период исследования современного состояния нерестового стада, состояния нерестилищ и экологических условий нереста, а так же целый ряд экспериментов, проведенных в процессе выращивания сига в условиях УЗВ, позволяет внести ряд корректировок и уточнений в разработанные ранее временные биотехнические нормативы (Таблица 16). Наиболее существенные уточнения пришлось внести в следующие параметры, рассматриваемые ниже:

- средняя относительная рабочая плодовитость самок определялась путем взвешивания всех самок до и после сцеживания икры за весь период наблюдения, полученные значения оказались существенно выше и составили 20,9 тыс. шт./кг;

- средняя масса самок и самцов оказалась ниже и составила 1,08 и 0,83 кг, что возможно связано с произошедшими изменениями в весовой структуре нерестового стада сига;

- продолжительность преднерестового содержания производителей сига в нашем случае составила 1-6 суток, так как практика показала, что при благоприятных температурах не более 5-6°C самка созревает в течение 1-3 суток. В тоже время длительное содержание самок при температуре выше 6-7°C не способствует получению половых продуктов хорошего качества и процент созревших при таких условиях самок не высок и составляет примерно 50%.

Таблица 16 – Рыбоводные нормативы для выращивания сига Куршского залива

Показатели	Временные нормативы	Наши данные
Преднерестовое содержание производителей		
Средняя относительная рабочая плодовитость самок сига, тыс. шт./кг	14,5	20,9
Средняя масса самок сига, кг	1,74	1,08
Средняя масса самцов сига, кг	1,15	0,83
Отход производителей при транспортировке, %	3,0 – 5,0	0-3
Отход самок при выдерживании, %	10,0	5-15
Отход самцов при выдерживании, %	5,0	3-10
Процент созревания самок, %	90,0	90-50
Плотность посадки производителей в бассейны, кг/м ³	60,0	20-30
Соотношение самки/самцы	1 : 3	1 : 3
Продолжительность преднерестового содержания, сутки	1 – 30	1-6
Инкубация икры		
Загрузка 8-л аппарата Вейса икрой, тыс. шт.	160 – 180	160 – 180
Оплодотворяемость икры, %	95,0	95-98
Выход живых эмбрионов за период инкубации, %	65,0 – 75,0	75-85
Температура воды от начала по 30 – 40-е сутки инкубации, °С	1,5 – 2,0	5-2,5
Температура воды от 40-х по 80-е сутки инкубации, °С	3,0 – 4,0	2,5-2,8
Температура воды от 85 суток инкубации до вылупления, °С	6,0 – 8,0	6-8
Продолжительность инкубации икры, сутки	95 – 110	89-130
Выдерживание предличинок и подращивание личинок		
Средняя масса личинок, мг		
- в начале периода	8	8
- в конце периода	300	300
Плотность посадки бассейны, тыс. шт./м ³		
- предличинок 8 мг в	100,0	35-55
- личинок 15 мг	50,0	-
- личинок 30 - 50 мг	25,0-30,0	30-50
- мальков 200 мг	10,0	-
Температура воды °С		
- для личинок массой 8 – 15 мг,	8 – 12	8-15
- для личинок массой 20 – 50 мг,	14 – 15	15-17
- для личинок массой 50 – 300 мг, °С	15 – 16	17-18
Кормовой коэффициент для искусственных кормов	2,0 – 2,5	15-4
Продолжительность выращивания, сутки	40	42-57
Выживаемость личинок за период, %	60	65-75
Выращивание мальков		
Средняя масса, г		
- в начале периода	0,30	0,30
- в конце периода	3,0	2,0+

Окончание таблицы 16

Плотность посадки 200 - 300 мг личинок в бассейны, тыс. шт./м ³	10,0	11,0-13,0
Плотность посадки 1,5 г мальков в бассейны, тыс. шт.	5,0	1,8-3,6
Температура воды, °С	17 – 19	17-19
Кормовой коэффициент для искусственных кормов	1,7 – 2,0	1,1-2,0
Продолжительность выращивания, сутки	35	40-55
Выживаемость молоди за период, %	90	90

– разница в продолжительности инкубационного развития икры обусловлена в нашем случае методикой получения двух партий личинки, так как мы сокращали период инкубации первой партии икры путем повышения температуры и увеличивали период инкубации для второй партии снижением температуры;

– различия в плотностях посадки при выдерживании и подращивании личинок обусловлены разработанной методикой разгона биофильтра и целесообразностью уменьшения количества пересадок личинки в период, когда она наиболее уязвима к механическим повреждениям;

– более высокие температуры при выдерживании и подращивании личинок в нашем случае способствуют быстрому выходу биофильтра на максимальные нагрузки и, как следствие, лучшим гидрохимическим показателям воды в УЗВ. При этом личинка лучше усваивает сухие корма и быстрее переходит на внешнее питание;

– увеличенные периоды этапов выращивания и более высокие кормовые коэффициенты, полученные нами, связаны с высокими плотностями посадки, большей пищевой конкуренцией и, как следствие, сниженными темпами роста;

Разработанные рыбоводные нормативы прошли апробацию в течение последних трех лет, они более точно соответствуют биотехнике выращивания сига в установке замкнутого водоснабжения Экспериментального рыбоводного цеха.

4.5 Особенности биологической очистки воды при выращивании сига

4.5.1 Основные требования к гидрохимическим показателям при выращивании сига в установках замкнутого водоснабжения

Сиг достаточно требователен к качеству воды, как при инкубации икры, так и при подращивании личинок и молоди. Водоснабжение экспериментального рыбоводного цеха осуществлялась от двух артезианских скважин, основной и резервной. Первичная водоподготовка осуществлялась при помощи аппарата обезжелезивания, после чего вода подавалась в отделения цеха. Непосредственно в УЗВ для поддержания гидрохимических показателей воды рыбоводным требованиям использовались следующие устройства и системы:

- обеззараживание воды происходило в аппаратах УФО в инкубационном и личиночном отделениях,
- механическая очистка воды производилась с помощью двух микрофильтров малькового отделения,
- биологическая очистка воды осуществлялась в биофильтре личиночного и двух биофильтрах малькового отделений,
- насыщение воды кислородом проходило в оксигенаторах инкубационного, личиночного и малькового отделений, подключенных к концентратору кислорода,
- температурный режим обеспечивался чиллером инкубационного отделения и системой подогрева технологической воды в личиночном и мальковом отделениях.

Требования к гидрохимическим показателям воды различны для разных этапов выращивания сига (Таблица 17).

Таблица 17 – Требования к качеству воды для сиговых рыб на различных этапах биотехнического процесса

Показатели	Выдерживание производителей		Инкубация икры		Выращивание молоди	
	норма	допустимые	норма	допустимые	норма	допустимые
Кислород, мг/л	8,0 – 10,0	3,5 – 4,0	10,0 – 14,0	7,0	7,0 – 9,0	6,0 – 6,5
Свободная углекислота, мг/л	5,0 – 10,0	30,0	5,0 – 10,0	40,0	5,0 – 15,0	10,0 – 20,0
pH	6,5 – 7,5	6,0 – 8,0	6,6 – 6,9	6,0 – 8,0	6,8 – 8,0	6,0 – 8,5
Азот аммонийный, мг/л	0,2 – 0,5	2,0	0,1 – 0,2	0,8	0,1 – 0,4	0,3 – 0,5
Азот нитритный, мг/л	0,001-0,005	0,02	0,001-0,005	0,01	0 – 0,005	0,01 – 0,02
Азот нитратный, мг/л	0,1 – 0,5	1,0	0,1 – 0,5	1,0	до 1,5	-
Фосфаты, мг/л	0,1 – 0,5	2,0	0,1 – 0,5	0,3	до 0,2	-
БПК5, мг/л	0,5-1,0	2,0	-	-	1,0-5,0	3,0-7,0
Окисляемость перманганатная, мгО/л	5,0-10,0	30,0	4,0-10,0	20,0	15,0-30,0	20,0-50,0
Железо общее, мг/л	0,001 – 0,01	0,5	0,001 – 0,01	0,1	до 1,0	-
Сульфаты, мг/л	5,0 – 10,0	100,0	-	-	5,0 – 300,0	-
Жесткость общая, 0Нем	1,0 – 2,0	10,0	0,8 – 2,8	5,0	более 5,0	-
Щелочность, мг·эquiv/л	-	-	-	-	от 1,5	-
Сероводород, мг/л	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие

В процессе искусственного воспроизводства сига в замкнутых системах обеспечение гидрохимических показателей качества воды в соответствии с требованиями водоснабжения сиговых рыбоводных заводов является одним из наиболее сложных задач. Эффективность биологической отчистки воды в биофильтре существенно зависит от температуры вода. Оптимальная температура эксплуатации биофильтра напрямую связана с особенностью жизнедеятельности нитрифицирующих бактерии и составляет 25°C [29]. Резкое изменение температуры, особенно ее понижение, негативно сказывается на

работе биофильтра. В тоже время сиг является холоднолюбивой рыбой оптимальная температура выращивания которой не превышает 18°C, что существенно снижает эффективность биологической очистки воды. А такие особенности биотехники воспроизводства сига, как вылупления предличинок при температуре 5-7°C, заставляет эксплуатировать биофильтр при особо низких температурах 7-9°C когда процессы денитрификации очень замедлены.

Шестилетний опыт воспроизводства сига в системе замкнутого водоснабжения позволил выделить следующие периоды в эксплуатации биофильтров и разработать алгоритмы действий для каждого периода:

- первичный запуск биофильтра,
- эксплуатация биофильтра при особо низких температурах во время вылупления предличинки,
- «разгон» биофильтра на режим работы с максимальной нагрузкой,
- повторный запуск биофильтра после санитарно-профилактических работ.

4.5.2 Первичный запуск биофильтра

Запуск нового биофильтра характерен тем, что в нем отсутствуют микроорганизмы, способные перерабатывать продукты жизнедеятельности рыб. Их биомасса должна соответствовать количеству поступающих в биофильтр загрязнений. Этот процесс проходит в несколько этапов, во время которых происходит изменение гидрохимических показателей воды УЗВ [27]. При аэробной биологической очистке первый этап заключается в переходе аммонийного азота под действием бактерий *Nitrosomonas* в нитриты, второй - окисление бактериями *Nitrobacter* нитритов до нитратов. Эти этапы имеют в своей основе биологическую природу, поэтому для развития необходимого количества бактерий требуется определенный промежуток времени. Это время и является «пусковым периодом» биофильтра.

Существуют различные методики запуска биофильтра такие как:

- внесение в УЗВ различных реагентов с целью создания питательной среды для развития и наращивания биомассы бактерий на поверхности загрузки биофильтра;

- внесение в биофильтр загрузки или субстрата из другого *действующего* биофильтра или уже готовых бактериальных смесей;

- постепенное наращивание биомассы гидробионтов в УЗВ [27].

В нашем случае применялся третий вариант, который заключался в постепенном наращивании ихтиомассы, суточных рационов кормления и как следствие поступающих в систему биогенов. Первоначальный запуск биофильтров был начат за два месяца до момента предполагаемого вылупления предличинки сига в 2010 г. В контур УЗВ личиночного и два контура малькового отделений была посажена молодь сига, выращенная во время проведения работ по воспроизводству сига в 2008-2009 гг. на арендованных мощностях. Температура в УЗВ поддерживалась на максимальном для сига уровне 18°C, кормление осуществлялось согласно рыбоводным нормам. Поскольку ихтиомасса молоди сига по отношению к объему системы была не велика, был отмечен незначительный рост сначала аммония, а через 6-7 дней нитритов. В течение 25-28 суток система пришла в равновесие, в воде присутствовали только следы аммония и нитритов.

4.5.3 Эксплуатации биофильтра при особо низких температурах

При пересадке личинки сига из инкубационного отделения в личиночное, температуру биофильтра личиночного отделения приходилось понижать до 8-9°C, эта процедура проводили по следующей схеме. Первоначальная температура биофильтра, в зависимости от предыдущего режима работы, поддерживалась в пределах 15-18°C, поскольку резкое понижение температуры отрицательно сказывается на жизнедеятельности бактерий, снижение температуры до 8-9°C производили плавно с суточным градиентом 0,5°C. Время начала снижения температуры подбиралось таким образом, чтобы достигнуть температуры 8-9°C к началу массового вылупления предличинки в

инкубационном отделении. После переноса всей личинки из инкубационного отделения в личиночное, плавно повышали температуру до 14°C с суточным градиентом не более 1°C. Кормление личинкой артемии начинали на 3-5 сутки при температуре воды 9-11°C, на 6-8 сутки вместе с артемией начинали давать сухие стартовые корма Aller future larvae кр.00 фирмы «Аллер аква». Анализ гидрохимических показателей воды проводили, ежедневно начиная с третьих суток кормления сухими кормами. При таком режиме эксплуатации биофильтра на низких температурах сбоев в работе не наблюдалось, биофильтр легко справлялся с нагрузками на начальных этапах кормления личинки сига.

4.5.4 «Разгон» биофильтра на режим работы с максимальной нагрузкой

По мере увеличения суточных рационов кормления и соответственно увеличения биогенов поступающих в УЗВ, нагрузка на биофильтр увеличивается. Поскольку в нашем случае пересчет суточных норм кормления происходил один раз в пять дней, этот процесс имел ступенчатый характер. В процессе увеличения ихтиомассы рыбы, содержащейся в УЗВ, и увеличения суточного рациона приходилось учитывать следующие факторы:

- невозможно увеличить биомассу бактерий в системе биологической отчистки без увеличения величины поступающих в нее биогенов;
- как было сказано выше, процесс увеличения биомассы бактерий занимает определенное время, т.е. сначала увеличивается концентрация аммонийного азота, затем увеличивается биомасса бактерий *Nitrosomonas*, преобразующих его в нитрит, и рост концентрации нитрита, затем происходит увеличение биомассы бактерий *Nitrobacter*, окисляющих нитрит до нитратов, после чего система отчистки стабилизируется на новом более высоком уровне;
- резкое увеличение поступающих в систему биологической отчистки загрязнений приводят к временному ухудшению гидрохимических показате-

лей воды в УЗВ и могут привести к гибели содержащихся в ней гидробионтов;

- эффективность системы биологической очистки повышается при более высокой температуре;

- важным фактором, определяющим эффективность аэробной биологической очистки, является содержание растворенного в воде кислорода. Рекомендуемый уровень не менее 4 мг/л на выходе из биофильтра.

Исходя из изложенного выше, нами была разработана следующая схема вывода биофильтра на максимально возможные нагрузки. После увеличения суточного рациона кормления отслеживалось увеличение концентрации аммония и нитритов в УЗВ. На вторые-третьи сутки наблюдался рост аммонийного азота, на шестые-восьмые - рост нитритов. При этом учитывался тот фактор, что образование аммонийного азота в основном происходит в рыбных бассейнах и регулировать рост его концентрации относительно не сложно, увеличивая количество чисток бассейнов в течение суток, добавление в систему большего количества подпиточной воды или, в крайнем случае, временным уменьшением суточного рациона кормления. Регулировать рост концентраций нитритов значительно сложнее, поскольку это вторичный процесс, протекающий в основном в биофильтре, он отличается значительной инерционностью и напрямую регулируется количеством подпиточной воды добавляемой в систему. Поэтому при увеличении суточных рационов рост концентраций аммонийного азота регулировали с учетом того, чтобы в дальнейшем гидрохимические показатели воды по нитритам не превысили нормативов. По мере роста ихтиомассы рыбы, содержащейся в системе, и увеличения суточных рационов кормления, процесс стабилизации работы биофильтра повторялся многократно до момента выхода на максимальную нагрузку, после чего часть рыбы пересаживали в УЗВ другого отделения или начинался ее поэтапный выпуск в Куршский залив.

Содержание нитратов в УЗВ личиночного и мальковых отделений регулировали количеством подпиточной воды, добавляемой в систему. Темпе-

ратуру воды в УЗВ поддерживали на максимальном возможном уровне для данного этапа выращивания. При поддержании уровня растворенного кислорода в бассейнах согласно требованиям биотехники для сиговых рыб, уровень кислорода на выходе из биофильтра был порядка 6 мг/л.

Для оценки эффективности работы биофильтра использовали следующие критерии (Таблица 18):

Таблица 18 – Предельная суточная нагрузка на биофильтр по корму на разных этапах выращивания

Навеска, г	Тип корма	Размер фракций, мм	Максимальное суточное количество корма на единицу площади загрузки биофильтра, г/м ²	Температура, °С	Максимальная ихтиомасса кг/м ³
0,02-0,05	Aller Futura Larvae EX	0,2-0,3	0,46-0,58	14-16	2,7
0,05-0,3	Aller Futura Larvae EX	0,3-0,5	0,81-0,93	15-17	5,3
1,0-2,0	Aller Futura Larvae EX	0,5-1,2	1,97-2,08	17-18	14,5
5,0-10,0	Aller Futura EX	1,3-2,0	3,0-3,13	17-18	20,0

1) максимально возможный суточный рацион корма, который выдерживает система водоочистки при допустимых гидрохимических показателях воды в УЗВ. Поскольку количество биогенов поступающих в систему зависит не столько от ихтиомассы гидробионтов находящихся в ней, сколько от количества поступающего корма. В тоже время нами была выявлена допустимая суточная нагрузка задаваемого корма на биофильтр на разных этапах выращивания. Из таблицы видно, что допустимая нагрузка на систему водоочистки сильно зависит от этапа выращивания, это связано с тем, что по мере роста повышается эффективность усвоения пищи рыбой и относительно снижается количество выделяемых продуктов метаболизма на единицу ихтиомассы;

2) оценка нагрузки на биофильтр по потреблению им кислорода.

4.5.5 Повторный запуск биофильтра после проведения санитарно-профилактических работ

В процессе проведения санитарно-профилактических работ в системе замкнутого водоснабжения применялся препарат «Хлорамин Т», который оказывает относительно щадящее действие на микрофлору системы водочистки. Ввиду этого, для повторного запуска биофильтра требовалось меньше времени чем для первоначального запуска, в целях экономии энергии запуск проводили при более низкой температуре 15-16°C и в последствии биофильтр намного лучше справлялся возрастающей на него нагрузкой. Запуск начинали за месяц до начала эксплуатации, по такой же схеме, как и при первоначальном запуске.

5 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА

Разработанные в исследовании работе биолого-экологические и организационно технические основы искусственного воспроизводства сига позволяют решить поставленную изначально задачу поддержания естественного нерестового запаса на минимальном уровне за счет выпуска 150 тыс. шт. подращенной молоди. Вместе с тем возникают вопросы определения перспектив дальнейшего развития данного направления. Они касаются следующих аспектов:

- экологической целесообразности увеличения искусственного воспроизводства;
- возможности увеличения выпуска молоди за счет оптимизации технологического процесса на существующих мощностях.

Первая проблема может быть решена за счет построения модели динамики численности популяции сига и расчета приемной емкости Куршского залива.

Подход к решению второй задачи возможен на основе исследования математической модели технологического процесса с учетом обоснованной выше оптимальной навески выпускаемой молоди.

5.1 Приемная емкость Куршского залива и оценка эффективности искусственного воспроизводства сига

С целью определения эффективности искусственного воспроизводства по восстановлению нерестового стада сига в Куршском заливе были рассмотрены различные методики по определению приемной емкости водоемов [54]. Проблемы определения приемной емкости водоема являются очень сложными и дискуссионными. Можно выделить два пути к оценке этого показателя.

Первый основан на экологическом подходе. Он предполагает исследования отношений воспроизводимого объекта аквакультуры с абиотическими

и биотическими факторами экосистемы водоема. С этой целью осуществляется расчет количества молоди объекта искусственного воспроизводства, которое может быть выпущено в водоем исходя из резерва продукции кормовой базы. Однако при этом приходится учитывать множество параметров экосистемы таких, как численность и биомасса рыб, продуктивность кормовой базы, состав пищи и рацион питания рыб [44], трофические связи в экосистеме. Все эти параметры очень трудно поддаются количественной оценке и характеризуются высокой степенью неопределенности [26, 84, 85]. Так, в процессе трофологических исследований, которые были весьма популярны в 1980-е гг., оказывалось, что рационы рыб, рассчитанные по балансу энергии, зачастую получались больше, чем продукция кормовой базы, оцениваемая в результате гидробиологических исследований [57, 58, 59]. А достоверность оценки численности популяции и ихтиомассы зачастую превышают десятки и даже сотни процентов [4, 5, 44].

Кроме того при определении объемов зарыбления Куршского залива молодью сига, необходимо учитывать, что сиг в основном обитает и нагуливается в море, половозрелые особи заходят в залив на период нереста, молодь находится в водоеме до ската в море относительно короткий период и скорее всего кормовая база не является лимитирующим фактором. В связи с этим данный подход к определению приемной емкости представляется не совсем адекватным.

Второй подход заключается в оценке приемной емкости водоема, по данным о промысловых уловах, когда формирование запасов, их пополнения осуществлялось естественным образом, а популяция, ее численность и биомасса находились в относительно стабильном состоянии, соответствующем емкости среды. В этом случае автоматически учитываются состояние кормовой базы, пищевые потребности и пищевые взаимоотношения рыб.

Этот метод был принят нами за основу при расчете необходимого объема зарыбления Куршского залива молодью для восстановления нерестового стада сига.

В качестве исходных были приняты следующие допущения. Как было описано выше, за последние 90 лет уловы сига имели значительные колебания. Максимальные уловы в довоенный период достигали 100 т, в послевоенный период 60 т. В тоже время эти значения были пиковыми в очень небольшой промежуток времени, когда популяция сига была не стабильна из-за резкого увеличения интенсивности промысла по сравнению с предыдущими периодами. В тоже время с конца 50-х до середины 80-х гг. популяция сига в Куршском заливе была относительно стабильна, в этот период уловы составляли в среднем около 20 т, эта величина улова и была принята нами в качестве целевого ориентира для расчетов необходимого объема зарыбления.

Для расчета приемной емкости использовалась имитационная модель, базирующаяся на модели У. Рикера [92, 118], принцип которой заключается в том что, популяция описывается как набор возрастных групп, каждая из которой характеризуется определенной численностью и биомассой. Переход от одной возрастной группы к последующей описывается простым экспоненциальным уравнением;

$$y = y_0 e^{kt} . \quad (14)$$

Для создания имитационной модели популяции сига использовались следующие уравнения:

Численность:

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t} . \quad (15)$$

или

$$N_{t+1} = N_t e^{-(M_t+F_t)} . \quad (16)$$

Индивидуальная масса особей:

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t} . \quad (17)$$

Биомасса возрастной группы:

$$B_{W_{t+1}} = B_{W_t} e^{G_t - Z_t} . \quad (18)$$

Улов в поштучном выражении для возрастной группы t

$$Y_{N_t} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} (1 - e^{-(F_t + M_t)}), \quad (19)$$

Улов в весовом выражении для возрастной группы t

$$Y_{W_t} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t - Z_t)} - 1), \quad (20)$$

Популяционная плодовитость:

$$E_P = \sum_{t=ts}^{t=t\lambda} N_t W_t E_{W_t}. \quad (21)$$

В приведенных выше формулах используются следующие обозначения:

- N - численность, шт;
- W - масса особи, г;
- t - возраст, годы;
- B - биомасса, г;
- Y_N - улов в поштучном выражении, шт;
- Y_W - улов в весовом выражении, г;
- E_P - популяционная плодовитость, тыс.шт;
- Z - мгновенный коэффициент общей смертности, 1/год;
- M - мгновенный коэффициент естественной смертности, 1/год;
- F - мгновенный коэффициент промысловой смертности, 1/год;
- G - мгновенный коэффициент скорости весового роста, 1/год;
- E_W - относительная плодовитость, икр/г;
- S - доля самок;
- q - коэффициент селективности.

Исследование модели проводилось следующим образом. Предполагалось что, коэффициенты весового роста и естественной смертности являются зависимыми от возраста.

Коэффициент скорости весового роста может быть легко определен для каждого возраста по наблюдаемым данным (Таблица 7), либо с использованием параметров уравнения Берталанфи (Рисунок 29) по формуле:

$$G_t = \ln \frac{W_{t+1}}{W_t}. \quad (22)$$

Главной проблемой является знание коэффициента естественной смертности. Коэффициент естественной смертности для сига не известен и оценить его по фактическим данным не представляется возможным. В этой связи мы применили теоретический подход предполагающий, что возрастная динамика естественной смертности описывается U-образной кривой: смертность максимальна на первом году жизни, минимальна в возрасте наступления половозрелости, и в дальнейшем возрастает по мере старения организма. Исходя из этого, нами кривая смертности была разбита на три отрезка:

1) Смертность в период инкубации икры в естественных условиях была принята 99%;

2) Смертность на первом году жизни не известна, и в настоящей работе она подбиралась в процессе имитационного моделирования. Предполагается, что величина этой смертности является переменной и выполняет роль компенсационной смертности обеспечивающей поддержание системы «запас-пополнение» в стабильном состоянии;

3) Третий период охватывает популяцию от одного года до предельного возраст жизни рыбы. Для нахождения естественной смертности на этом этапе нами применены элементы, основанные на методике предложенной Л.А. Зыковым [32, 33, 34]. Л.А. Зыков принял, что возрастная динамика ихтиомассы поколения описывается ассиметричной параболой, минимум которой приходится на возраст наступления половозрелости. В этой минимальной точке наблюдается равенство скорости весового роста G и естественной смертности M , что обеспечивает кульминацию ихтиомассы. Учитывая, что мгновенный коэффициент скорости весового роста может быть легко определен, по его значению можно оценить коэффициент минимальной естественной смертности. Учитывая, что в исследуемой популяции сига возраст наступления массовой половозрелости составляет пять лет, при коэффициенте

те весового роста $G=0,46$ 1/год. Это же значение можно принять в качестве мгновенного коэффициента естественной смертности. Максимальный возраст сига в выборке из 1100 шт. составил 10 лет. Согласно методике Ф.И. Баранова [118] в этом случае величина годовой естественной смертности должна составить 50% или в мгновенных показателях $M=0,693$ 1/год. Исходя из этих положений, мы подобрали полином третьей степени, описывающий естественную смертность, так что бы его минимум соответствовал значению коэффициенту мгновенной естественной смертности $M=0,46$, а суммарная годовая смертность составляла $M=0,693$ 1/год.

Полученные популяционные параметры мгновенная скорость рост G , естественная смертность M и биомасса популяции B представлены на рисунке (Рисунок 51). Как видно в младших возрастах темп весового роста повышает естественную смертность, что приводит к нарастанию биомассы, а в старших возрастах наблюдается обратная картина. Максимум биомассы (кульминация) приходится на точку пересечения кривых роста и смертности в возрасте пять лет.

Исследование имитационной модели велось следующим образом. Задавалось некоторое начальное значение популяционной плодовитости E_p и коэффициента естественной смертности в возраст $0+$, по приведенным выше формулам модели Рикера рассчитывались все популяционные параметры численность, биомасса, популяционная плодовитость и величина уловов. Используя функцию Excel «поиск решения», подбиралось такое значение естественной смертности в возраст $0+$, которое бы обеспечивало существование стабильной популяции. Очевидно, что это достигается когда начальная численность, соответствующая количеству икры, соответствует результирующему значению популяционной плодовитости.

Второй этап расчетов заключался в подборе такого значения начальной численности и равной ей популяционной плодовитости, которые при заданном значении промысловой смертности обеспечивали бы стабильную величину улова принятой равной 20 т.

Учитывая относительно невысокую интенсивность сетного промысла, описанного В.М. Осадчим для Куршского залива [76], было принято, что величина мгновенного коэффициента промысловой смертности не могла превышать $F=0,2$ 1/год. В этой связи модель исследовалась для трех вариантов промысловой смертности $F= 0,05; 0,1; 0,2$. Результаты расчетов приведены в таблицах 19-21.

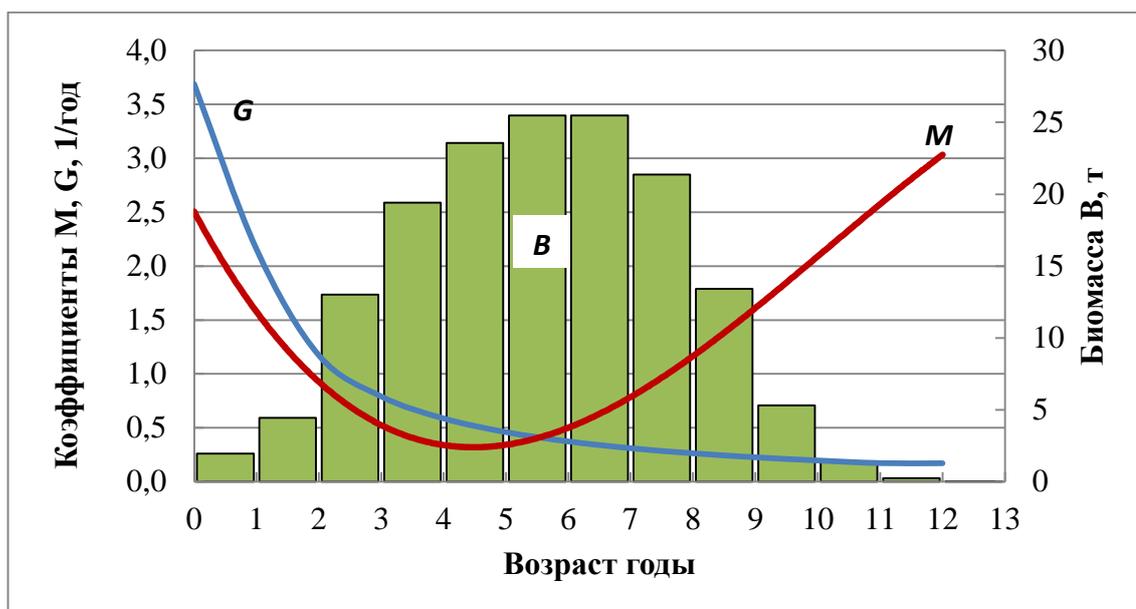


Рисунок 51 – Основные популяционные параметры сига Куршского залива использованные при построении модели (обозначения в тексте)

Рассмотрим вариант модели с достаточно высокой интенсивности промысла $F=0.2$ 1/ год и стабильном вылове 20 т. В этом случае численность стабильной популяции (когда результирующая популяционная плодовитость равна начальному количеству икры) составляет 1,95 млн. шт., общая биомасса 208 т и величина нерестового стада 101 т. Уравновешенное состояние популяции обеспечивается за счет коэффициента компенсационной смертности $M=2,314$ 1/год.

Для модели с интенсивностью промысла $F=0.1$ 1/ год и стабильном вылове 20 т, численность стабильной популяции составляет 4,09 млн. шт., общая биомасса 376 т и величина нерестового стада 203 т, коэффициента компенсационной смертности $M=2,578$ 1/год.

Таблица 19 – Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F=0.2$ 1/год

t, годы	W, г	G, 1/год	M, 1/год	F, 1/год	N тыс.шт	B, кг	S	E, тыс.шт	q	Yw, кг
Er			4,605	-	1954151		-	-	-	-
0	0,1	3,689	2,314	-	19542	1 954	-	-	-	-
1	4,0	2,156	1,084	-	1932	7 727	-	-	-	-
2	35	1,172	0,771	-	654	22 574	-	-	-	-
3	111	0,791	0,597	-	302	33 708	-	-	-	-
4	246	0,587	0,509	0,2	166	40 909	0,10	163 636	0,5	3851
5	442	0,460	0,460	0,2	82	36 200	0,25	362 005	1	6561
6	700	0,373	0,549	0,2	42	29 632	0,35	414 846	1	4940
7	1 017	0,311	0,776	0,2	20	20 350	0,60	488 408	1	2972
8	1 387	0,263	1,191	0,2	8	10 461	0,85	355 685	1	1255
9	1 805	0,226	1,544	0,2	2	3 387	1,00	135 473	1	348
10	2 263	0,197	1,985	0,2	0	742	1,00	29 695	1	64
11	2 754	0,172	2,464	0,2	0	102	1,00	4 066	1	7
12	3 272	0,171	3,181	0,2	0,001	8	1,00	337	1	1
Сумма	-	-	-	-	1976901	207 756	-	1 954 150	-	20000

Таблица 20 – Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F=0.1$ 1/год

t, годы	W, г	G, 1/год	M, 1/год	F, 1/год	N тыс.шт	B, кг	S	E, тыс.шт	q	Yw, кг
Ер			4,605	-	4096459		-	-	-	-
0	0,1	3,689	2,579	-	40965	4 096	-	-	-	-
1	4,0	2,156	1,084	-	3108	12 429	-	-	-	-
2	35	1,172	0,771	-	1051	36 310	-	-	-	-
3	111	0,791	0,597	-	486	54 221	-	-	-	-
4	246	0,587	0,509	0,1	268	65 804	0,10	263 214	0,5	3254
5	442	0,460	0,460	0,1	146	64 354	0,25	643 535	1	6123
6	700	0,373	0,549	0,1	83	58 217	0,35	815 032	1	5088
7	1 017	0,311	0,776	0,1	43	44 186	0,60	1 060 473	1	3375
8	1 387	0,263	1,191	0,1	18	25 103	0,85	853 517	1	1569
9	1 805	0,226	1,544	0,1	5	8 982	1,00	359 278	1	480
10	2 263	0,197	1,985	0,1	1	2 176	1,00	87 035	1	98
11	2 754	0,172	2,464	0,1	0	329	1,00	13 169	1	13
12	3 272	0,171	3,181	0,1	0,001	30	1,00	1 205	1	1
Сумма	-	-	-	-	4142634	376 238		4 096 458		20000

Таблица 21 – Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F=0.05$ 1/год

t, годы	W, г	G, 1/год	M, 1/год	F, 1/год	N тыс.шт	B, кг	S	E, тыс.шт	q	Yw, кг
Ер			4,605	-	8402065	-	-	-	-	-
0	0,1	3,689	2,719	-	84021	8 402	-	-	-	-
1	4,0	2,156	1,084	-	5540	22 152	-	-	-	-
2	35	1,172	0,771	-	1874	64 713	-	-	-	-
3	111	0,791	0,597	-	867	96 634	-	-	-	-
4	246	0,587	0,509	0,05	477	117 277	0,10	469 107	0,5	2973
5	442	0,460	0,460	0,05	273	120 573	0,25	1 205 729	1	5880
6	700	0,373	0,549	0,05	164	114 667	0,35	1 605 338	1	5132
7	1 017	0,311	0,776	0,05	90	91 495	0,60	2 195 869	1	3575
8	1 387	0,263	1,191	0,05	39	54 646	0,85	1 857 947	1	1743
9	1 805	0,226	1,544	0,05	11	20 554	1,00	822 179	1	560
10	2 263	0,197	1,985	0,05	2	5 235	1,00	209 384	1	120
11	2 754	0,172	2,464	0,05	0	833	1,00	33 306	1	16
12	3 272	0,171	3,181	0,05	0,001	80	1,00	3 203	1	1
Сумма	-	-	-	-	8495423	717 259	-	8 402 063	-	20000

Для модели с интенсивностью промысла $F=0.05$ 1/ год и стабильном вылове 20 т, численность стабильной популяции составляет 8,4 млн. шт., общая биомасса 717 т и величина нерестового стада 408 т, коэффициента компенсационной смертности $M=2,719$ 1/год.

Полученные результаты моделирования позволяют оценить возможный промысловый возврат как отношение численности пятигодовиков к численности возрастной группы 0+. Анализ таблиц показывает, что выживаемость старших возрастных групп определяется величиной компенсационной смертности группы 0+. Очевидно, что для поддержания стабильного запаса компенсационная смертность должна быть величиной переменной, зависящей от величины нерестового запаса и в последующем от популяционной плодовитости и гибели икры. В наших расчетах принималась, что естественная смертность икры составляет 99%, и в результате было получено некоторое частное решение. На самом деле величина естественного отхода икры вероятно может изменяться в широких пределах. С целью более полного изучения данного вопроса нами была исследована модель следующим образом:

- задавались различные значения гибели икры за период инкубации в естественных условиях в пределах от 90 до 99% (для большей наглядности использовались действительные коэффициенты смертности в процентах);

- путем итераций подбирался коэффициент естественной смертности возрастной группы 0+, обеспечивающий стабильное существование популяции. Очевидно, что каждому значению компенсационной смертности соответствует определенная численность запаса и популяционная плодовитость;

- рассчитывалась численность возрастной группы 0+ и пятигодовиков, затем определялся коэффициент промыслового возврата.

В результате получена кросс-таблица, позволяющая оценить величину промыслового возврата в зависимости от соотношения между естественной гибели икры и молоди (Таблица 22).

Таблица 22 – Зависимость коэффициента промыслового возврата сига от соотношения между гибелью икры и молоди по результатам моделирования в дикой популяции, %

Гибель молоди 0+	Гибель икры										
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	
92,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,393
96,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,196	-
97,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,131	-	-
98,1	-	-	-	-	-	-	-	0,098	-	-	-
98,5	-	-	-	-	-	-	0,079	-	-	-	-
98,7	-	-	-	-	-	0,066	-	-	-	-	-
98,9	-	-	-	0,056	-	-	-	-	-	-	-
99,1	-	-	0,049	-	-	-	-	-	-	-	-
99,2	0,039	0,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Как видно из таблицы, при изменении задаваемых значений гибели икры за период инкубации в естественных условиях в пределах от 90 до 99%, значения естественной смертности молоди в возрасте 0+ варьировались от 92,4 до 99,2%, при этом расчетная величина промыслового возврата изменялась от 0,039 до 0,393%. При равенстве смертности икры в период инкубации и молоди в первый год жизни, коэффициент промыслового возврата составляет около 0,12%.

Обращает на себя внимание следующий факт. В модели заданы крайне жесткие условия выживаемости икры, молоди и достаточно высокие значения коэффициентов естественной смертности взрослых рыб. Но даже в этом случае промысловый возврат получается достаточно высоким, в несколько раз превышающим установленные нормативные показатели - 0,2%.

Рассмотрим теперь эффект двух вариантов искусственного воспроизводства с точки зрения поддержания естественного воспроизводства и получения возможной величины уловов. Первый – существующий в рамках выполнения государственного задания на выпуск 150 тыс. шт. подрощенной молоди сига. Второй – при увеличении мощности до 500 тыс. шт. в год. Значения гибели икры и молоди определялись следующим образом. В качестве параметра модели применялся фактический полученный коэффициент есте-

ственной смертности (отхода) от закладки икры на инкубацию до выпуска подрощенной молоди в залив, который составил 66,6%. В естественных условиях личинка и молодь находится в заливе до ската в море около пяти месяцев. При искусственном воспроизводстве личинка и малек находятся в УЗВ примерно половину этого срока, поэтому можно принять, что коэффициент естественной смертности после выпуска, для возраста 0+ будет в два раза меньше чем в модели для естественной популяции, т.е. $M=1,289$. Результаты расчетов отражены в таблицах 23-24.

Искусственное воспроизводство в объеме ежегодного выпуска 150 тыс. шт. подрощенной молоди (Таблица 23) обеспечивает формирование нерестового стада биомассой 5,5 т. и суммарную плодовитость 113 млн. шт. икры. При этом расчетная величина промыслового возврата составит 2,57%. Учитывая, что на искусственное воспроизводство необходимо использовать всего 0,45 млн. шт. икры, основной фонд икры пойдет на расширенное естественное воспроизводство.

Искусственное воспроизводство в объеме 500 тыс. шт. подрощенной молоди (Таблица 24) обеспечивает формирование нерестового стада биомассой 18,3 т. и суммарную плодовитость 377 млн. шт. икры. При этом расчетная величина промыслового возврата не изменится и составит 2,57%. Учитывая, что на искусственное воспроизводство необходимо использовать всего 1,5 млн. шт. икры, оставшийся фонд икры более 375 млн. пойдет на расширенное естественное воспроизводство.

Таким образом, исследование популяции сига с помощью математической модели показывает, что приемная емкость Куршского залива по сигу находится в пределах 2-8 млн. шт. сеголетков (в зависимости от задаваемых параметров). Эти цифры существенно превышают плановые показатели Экспериментального рыбоводного цеха, следовательно, деятельность предприятия не нарушает сложившегося баланса в экосистеме Куршского залива, как в настоящее время, так и планируемом увеличении выпуска до 500 тыс. шт.

Таблица 23 – Модель популяции сига поддерживаемой за счет искусственного воспроизводства при ежегодном выпуске 150 тыс. шт. подрощенной молодежи

t, годы	W, г	G, 1/год	M, 1/год	F, 1/год	N тыс.шт	B, кг	S	E, тыс.шт	q	Yw, кг
Ер			1,097	-	450	-	-	-	-	-
0	0,1	3,689	0,7	-	150	15,0	-	-	-	-
1	4,0	2,156	1,084	-	75	298,5	-	-	-	-
2	35	1,172	0,771	-	25	871,9	-	-	-	-
3	111	0,791	0,597	-	12	1 301,9	-	-	-	-
4	246	0,587	0,509	0,045	6	1 580,0	0,10	6 320	0,5	36,1
5	442	0,460	0,460	0,045	4	1 632,6	0,25	16 326	1	71,8
6	700	0,373	0,549	0,045	2	1 560,4	0,35	21 846	1	63,0
7	1 017	0,311	0,776	0,045	1	1 251,3	0,60	30 032	1	44,1
8	1 387	0,263	1,191	0,045	1	751,1	0,85	25 537	1	21,6
9	1 805	0,226	1,544	0,045	0	283,9	1,00	11 357	1	7,0
10	2 263	0,197	1,985	0,045	0	72,7	1,00	2 907	1	1,5
11	2 754	0,172	2,464	0,045	0	11,6	1,00	465	1	0,2
12	3 272	0,171	3,181	0,045	0,001	1,1	1,00	45	1	0,0
Сумма	-	-	-	-	726	9 632,1	-	114 835	-	245,4

Таблица 24 – Модель популяции сига поддерживаемой за счет искусственного воспроизводства при ежегодном выпуске 500 тыс. шт. подрощенной молодежи

t, годы	W, г	G, 1/год	M, 1/год	F, 1/год	N тыс.шт	B, кг	S	E, тыс.шт	q	Y _w , кг
E _p			1,097	-	1 498	-	-	-	-	-
0	0,1	3,689	0,7	-	500	50,0	-	-	-	-
1	4,0	2,156	1,084	-	248	993,5	-	-	-	-
2	35	1,172	0,771	-	84	2 902,3	-	-	-	-
3	111	0,791	0,597	-	39	4 334,0	-	-	-	-
4	246	0,587	0,509	0,045	21	5 259,8	0,10	21 039	0,5	120,3
5	442	0,460	0,460	0,045	12	5 434,7	0,25	54 347	1	239,1
6	700	0,373	0,549	0,045	7	5 194,4	0,35	72 722	1	209,7
7	1 017	0,311	0,776	0,045	4	4 165,5	0,60	99 972	1	146,8
8	1 387	0,263	1,191	0,045	2	2 500,3	0,85	85 011	1	71,9
9	1 805	0,226	1,544	0,045	1	945,2	1,00	37 808	1	23,2
10	2 263	0,197	1,985	0,045	0	241,9	1,00	9 677	1	5,0
11	2 754	0,172	2,464	0,045	0	38,7	1,00	1 547	1	0,7
12	3 272	0,171	3,181	0,045	0	3,7	1,00	150	1	0,1
Сумма	-	-	-	-	2 417	32 064,2	-	382 273	-	816,8

Приведенные расчеты показывают, что искусственное воспроизводство в количестве 500 тыс. шт. подрощенной молоди вполне достаточно для восстановления популяции сига Куршского залива. С целью увеличения промыслового запаса и перехода к пастбищному рыболовству дальнейшие усилия должны быть направлены на мелиорацию естественных нерестилищ и создание искусственных.

5.2 Модель технологического процесса

С целью оптимизации технологического процесса нами разработана математическая модель получения молоди сига в условиях установки замкнутого водоснабжения на имеющихся мощностях в объеме 250 тыс. шт., навеской более 1 г (Таблица 25). Данная навеска была обоснована в предыдущих разделах как оптимальная, с учетом необходимости времени для адаптации молоди к природным условиям Куршского залива и миграции ее в море в сроки соответствующие миграции естественной популяции.

В основу модели были положены следующие соображения:

1) Изменение численности рыб в процессе выращивания рассчитывалась для каждого контура по полученному ранее кривой смертности в зависимости от возраста;

2) Весовой рост определялся исходя из кусочно-экспоненциальной модели с учетом коэффициент удельной скорости роста C_w , зависящей от достигнутой массы особи (11);

3) Ихтиомасса определялась как произведение численности на достигнутую среднюю массу особи для каждого момента времени;

4) Суточный рацион рассчитывался исходя из применяемых нами кормовых коэффициентов с учетом достигнутой навески и ихтиомассы. Учитывая, что в процессе выращивания постоянно происходит возрастание величины потребляемого корма, лимитирующим параметром являлся предельная нагрузка на биофильтр (Таблица 18) зависящая от этапов выращивания и применяемой фракции корма. Шаг модели был принят равным одним суткам.

Исследование модели велось путем варьирования начального количества выращиваемой личинки, подбором оптимальных сроков пересадки личинки в разные контура УЗВ, таким образом, что бы с одной стороны не допустить превышения предельной нагрузки на биофильтры, а с другой достичь заданной навески 1 г и обеспечить получение целевого показателя – объема выпуска 250 тыс. шт.

Оказалось, что проста схема выращивания по типу инкубация – подращивание личинки в личиночном отделении – выращивание малька в мальковом отделении не позволяет решить поставленную задачу. Достижение объема выпуска 250 тыс. шт. возможно при последовательном выращивании двух партий личинки и молоди на одних и тех же рыбоводных мощностях.

Оптимальная схема выращивания выглядит следующим образом. Вылупившая предличинка высаживается в личиночное отделение в количестве 260 тыс. шт. Одновременно по 50 тыс. шт. личинки высаживаются в контуры №1 и №2 малькового отделения с целью создания оптимальных плотностей посадки, обеспечивающие максимально возможные темпы роста и исключаяющие пересадки личинки на критических этапах развития, а так же осуществления плавного «разгона» всех биофильтров путем постепенной повышения нагрузки.

Подращивание личинки в личиночном отделении продолжается в течение 35 суток до навески 0,1 г, после чего она пересаживается в два контура малькового отделения.

После пересадки личиночное отделение готовится для приема второй партии личинки в течение пяти суток. В это время происходит понижение температуры в УЗВ личиночного отделения до 8-10°C, с целью выравнивания температур инкубационного и личиночного отделений (см. раздел 5.2).

После переноса личинки из инкубационного отделения в личиночное, начинается выдерживание и подращивание личинки второй партии при продолжающемся выращивании малька первой партии в мальковом отделении.

По мере достижения мальком первой навески 1 г. (ориентировочно 82 сутки выращивания), производится его сортировка и поэтапный выпуск в залив. По мере освобождения бассейнов малькового отделения, в них пересаживается личинка второй партии из личиночного отделения. К этому времени ее навеска составит порядка 0,17 г. После окончания выпуска мальков первой партии, личинка второй партии распределяется по бассейнам контуров малькового и личиночного отделений с одинаковыми плотностями посадки и происходит ее выращивание до достижения плановой навески. Выпуск молоди первой партии в объеме 150 тыс.шт. происходит в середине мая, второй партии в объеме 100 тыс.шт. приходится на 15-30 июня.

Разработанная модель позволяет просчитать все этапы выращивания, оптимизировать использование рыбоводных мощностей с целью увеличения объемов зарыбления Куршского залива на 60% без капитальных затрат на приобретение рыбоводного оборудования.

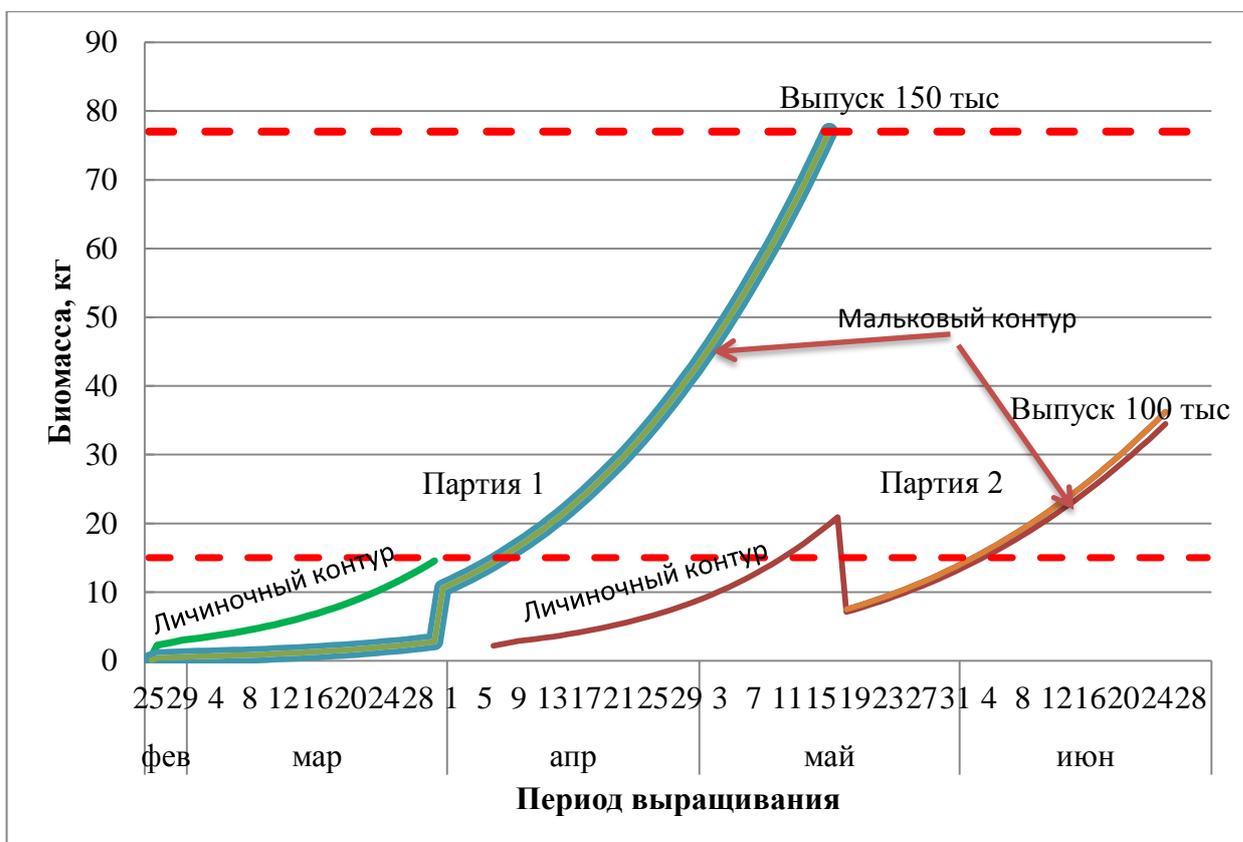


Рисунок 52 – Модель технологического процесса для выращивания 250 тыс. подрощенной молоди навеской 1 г

Таблица 25 – Модель технологического процесса выращивания сига для мощности рыбоводного предприятия 250 тыс. шт. подрощенной молоди, навеской 1 г (показан только один мальковый контур)

Дата		Личиночный контур										Мальковый контур 1										Вы- пуск
		Партия 1					Партия 2					Партия 1					Партия 2					
		W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	
фев	25	0,008	0	0,0	-	0,0	-	-	-	-	-	0,008	0	0,0		0,0	-	-	-	-	-	-
	26	0,009	261	2,3	-	0,0	-	-	-	-	-	0,009	50	0,4		0,0	-	-	-	-	-	-
	27	0,010	261	2,5	-	0,0	-	-	-	-	-	0,010	50	0,5		0,0	-	-	-	-	-	-
	28	0,011	261	2,8	-	0,0	-	-	-	-	-	0,011	50	0,5		0,0	-	-	-	-	-	-
	29	0,012	261	3,0	-	0,0	-	-	-	-	-	0,012	50	0,6		0,0	-	-	-	-	-	-
мар	1	0,013	250	3,2	10	0,3	-	-	-	-	-	0,013	48	0,6	10	0,1	-	-	-	-	-	-
	2	0,014	241	3,3	10	0,3	-	-	-	-	-	0,014	46	0,6	10	0,1	-	-	-	-	-	-
	3	0,015	232	3,5	10	0,3	-	-	-	-	-	0,015	44	0,7	10	0,1	-	-	-	-	-	-
	4	0,016	223	3,7	10	0,4	-	-	-	-	-	0,016	43	0,7	10	0,1	-	-	-	-	-	-
	5	0,018	216	3,9	10	0,4	-	-	-	-	-	0,018	41	0,7	10	0,1	-	-	-	-	-	-
	6	0,019	209	4,1	9	0,4	-	-	-	-	-	0,019	40	0,8	9	0,1	-	-	-	-	-	-
	7	0,021	202	4,3	9	0,4	-	-	-	-	-	0,021	39	0,8	9	0,1	-	-	-	-	-	-
	8	0,023	196	4,5	9	0,4	-	-	-	-	-	0,023	38	0,9	9	0,1	-	-	-	-	-	-
	9	0,025	191	4,7	8	0,4	-	-	-	-	-	0,025	37	0,9	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	10	0,027	186	5,0	8	0,4	-	-	-	-	-	0,027	36	1,0	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	11	0,029	181	5,3	8	0,4	-	-	-	-	-	0,029	35	1,0	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	12	0,032	177	5,6	8	0,4	-	-	-	-	-	0,032	34	1,1	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	13	0,034	172	5,9	8	0,5	-	-	-	-	-	0,034	33	1,1	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	14	0,037	169	6,2	8	0,5	-	-	-	-	-	0,037	32	1,2	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	15	0,040	165	6,5	8	0,5	-	-	-	-	-	0,040	32	1,3	8	0,1	-	-	-	-	-	-
	16	0,043	162	6,9	5	0,3	-	-	-	-	-	0,043	31	1,3	5	0,1	-	-	-	-	-	-
	17	0,046	159	7,3	5	0,4	-	-	-	-	-	0,046	30	1,4	5	0,1	-	-	-	-	-	-
	18	0,049	156	7,7	5	0,4	-	-	-	-	-	0,049	30	1,5	5	0,1	-	-	-	-	-	-
	19	0,053	153	8,1	5	0,4	-	-	-	-	-	0,053	29	1,6	5	0,1	-	-	-	-	-	-
	20	0,057	150	8,6	5	0,4	-	-	-	-	-	0,057	29	1,6	5	0,1	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 25

Дата	Личиночный контур										Мальковый контур 1										Вы- пуск		
	Партия 1					Партия 2					Партия 1					Партия 2							
	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K			
	21	0,061	148	9,0	5	0,5	-	-	-	-	-	0,061	28	1,7	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	22	0,065	146	9,5	5	0,5	-	-	-	-	-	0,065	28	1,8	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	23	0,070	144	10,1	5	0,5	-	-	-	-	-	0,070	27	1,9	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	24	0,075	142	10,6	5	0,5	-	-	-	-	-	0,075	27	2,0	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	25	0,080	140	11,2	5	0,6	-	-	-	-	-	0,080	27	2,1	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	26	0,086	138	11,8	5	0,6	-	-	-	-	-	0,086	26	2,3	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	27	0,091	136	12,4	5	0,6	-	-	-	-	-	0,091	26	2,4	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	28	0,097	135	13,1	5	0,7	-	-	-	-	-	0,097	26	2,5	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	29	0,104	133	13,8	5	0,7	-	-	-	-	-	0,104	26	2,6	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	30	0,110	132	14,6	5	0,7	-	-	-	-	-	0,110	25	2,8	5	0,1	-	-	-	-	-	-	-
	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,118	90	10,6	5	0,5	-	-	-	-	-	-	-
апр	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,125	89	11,2	5	0,6	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,133	89	11,8	5	0,6	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,141	88	12,4	5	0,6	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,149	87	13,0	5	0,7	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,158	86	13,7	4	0,5	0,008	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	0,009	250	2,2	-	-	0,168	86	14,4	4	0,6	0,009	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	0,010	250	2,4	-	-	0,178	85	15,1	4	0,6	0,010	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	0,011	250	2,6	-	-	0,188	84	15,9	4	0,6	0,011	-	-	-	-	-	-
	9	-	-	-	-	-	0,012	250	2,9	-	-	0,199	84	16,7	4	0,7	0,012	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	0,013	240	3,0	10	0,3	0,210	83	17,5	4	0,7	0,013	-	-	10	-	-	-
	11	-	-	-	-	-	0,014	230	3,2	10	0,3	0,222	83	18,4	3	0,6	0,014	-	-	10	-	-	-
	12	-	-	-	-	-	0,015	222	3,3	10	0,3	0,234	82	19,3	3	0,6	0,015	-	-	10	-	-	-
	13	-	-	-	-	-	0,016	214	3,5	10	0,4	0,246	82	20,2	3	0,6	0,016	-	-	10	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	0,018	207	3,7	10	0,4	0,260	82	21,2	3	0,6	0,018	-	-	10	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	0,019	200	3,9	9	0,3	0,273	81	22,2	3	0,7	0,019	-	-	9	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	0,021	194	4,1	9	0,4	0,288	81	23,2	3	0,7	0,021	-	-	9	-	-	-

Продолжение таблицы 25

Дата		Личиночный контур										Мальковый контур 1										Вы- пуск
		Партия 1					Партия 2					Партия 1					Партия 2					
		W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	
	17	-	-	-	-	-	0,023	188	4,3	9	0,4	0,303	80	24,3	3	0,7	0,023	-	-	9	-	-
	18	-	-	-	-	-	0,025	183	4,5	8	0,4	0,318	80	25,4	3	0,8	0,025	-	-	8	-	-
	19	-	-	-	-	-	0,027	178	4,8	8	0,4	0,334	80	26,6	3	0,8	0,027	-	-	8	-	-
	20	-	-	-	-	-	0,029	173	5,1	8	0,4	0,351	79	27,8	3	0,8	0,029	-	-	8	-	-
	21	-	-	-	-	-	0,032	169	5,3	8	0,4	0,368	79	29,1	3	0,9	0,032	-	-	8	-	-
	22	-	-	-	-	-	0,034	165	5,6	8	0,4	0,386	79	30,4	3	0,9	0,034	-	-	8	-	-
	23	-	-	-	-	-	0,037	162	5,9	8	0,5	0,404	79	31,7	3	1,0	0,037	-	-	8	-	-
	24	-	-	-	-	-	0,040	158	6,3	8	0,5	0,423	78	33,1	3	1,0	0,040	-	-	8	-	-
	25	-	-	-	-	-	0,043	155	6,6	5	0,3	0,443	78	34,6	2	0,7	0,043	-	-	5	-	-
	26	-	-	-	-	-	0,046	152	7,0	5	0,3	0,464	78	36,1	2	0,7	0,046	-	-	5	-	-
	27	-	-	-	-	-	0,049	149	7,4	5	0,4	0,485	78	37,6	2	0,8	0,049	-	-	5	-	-
	28	-	-	-	-	-	0,053	146	7,8	5	0,4	0,507	77	39,2	2	0,8	0,053	-	-	5	-	-
	29	-	-	-	-	-	0,057	144	8,2	5	0,4	0,529	77	40,8	2	0,8	0,057	-	-	5	-	-
	30	-	-	-	-	-	0,061	142	8,7	5	0,4	0,552	77	42,5	2	0,9	0,061	-	-	5	-	-
май	1	-	-	-	-	-	0,065	140	9,1	5	0,5	0,576	77	44,3	2	0,9	0,065	-	-	5	-	-
	2	-	-	-	-	-	0,070	137	9,6	5	0,5	0,601	77	46,1	2	0,9	0,070	-	-	5	-	-
	3	-	-	-	-	-	0,075	136	10,2	5	0,5	0,627	76	47,9	2	1,0	0,075	-	-	5	-	-
	4	-	-	-	-	-	0,080	134	10,7	5	0,5	0,653	76	49,8	2	1,0	0,080	-	-	5	-	-
	5	-	-	-	-	-	0,086	132	11,3	5	0,6	0,680	76	51,8	2	1,0	0,086	-	-	5	-	-
	6	-	-	-	-	-	0,091	130	11,9	5	0,6	0,707	76	53,8	2	1,1	0,091	-	-	5	-	-
	7	-	-	-	-	-	0,097	129	12,6	5	0,6	0,736	76	55,8	2	1,1	0,097	-	-	5	-	-
	8	-	-	-	-	-	0,104	128	13,2	5	0,7	0,765	76	58,0	2	1,2	0,104	-	-	5	-	-
	9	-	-	-	-	-	0,110	126	13,9	5	0,7	0,795	76	60,1	2	1,2	0,110	-	-	5	-	-
	10	-	-	-	-	-	0,118	125	14,7	4	0,6	0,826	76	62,4	2	1,2	0,118	-	-	5	-	-
	11	-	-	-	-	-	0,125	124	15,5	4	0,6	0,858	75	64,7	2	1,3	0,125	-	-	5	-	-
	12	-	-	-	-	-	0,133	123	16,3	4	0,7	0,890	75	67,0	2	1,3	0,133	-	-	5	-	-
	13	-	-	-	-	-	0,141	122	17,1	4	0,7	0,924	75	69,4	2	1,4	0,141	-	-	5	-	-

Продолжение таблицы 25

Дата	Личиночный контур										Мальковый контур 1										Вы- пуск
	Партия 1					Партия 2					Партия 1					Партия 2					
	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	
	14	-	-	-	-	0,149	121	18,0	4	0,7	0,958	75	71,9	2	1,4	0,149	-	-	5	-	-
	15	-	-	-	-	0,158	120	18,9	4	0,8	0,993	75	74,4	2	1,5	0,158	-	-	4	-	-
	16	-	-	-	-	0,168	119	19,9	4	0,8	1,028	75	77,0	2	1,5	0,168	-	-	4	-	-
	17	-	-	-	-	0,178	118	20,9	4	0,8	-	-	-	-	-	0,178	-	-	4	-	-
	18	-	-	-	-	0,188	38	7,1	4	0,3	-	-	-	-	-	0,188	40	7,5	4	0,3	-
	19	-	-	-	-	0,199	38	7,5	4	0,3	-	-	-	-	-	0,199	39	7,8	4	0,3	-
	20	-	-	-	-	0,210	37	7,8	4	0,3	-	-	-	-	-	0,210	39	8,2	4	0,3	-
	21	-	-	-	-	0,222	37	8,2	4	0,3	-	-	-	-	-	0,222	39	8,6	3	0,3	-
	22	-	-	-	-	0,234	37	8,6	4	0,3	-	-	-	-	-	0,234	39	9,1	3	0,3	-
	23	-	-	-	-	0,246	37	9,0	4	0,4	-	-	-	-	-	0,246	39	9,5	3	0,3	-
	24	-	-	-	-	0,260	36	9,5	4	0,4	-	-	-	-	-	0,260	38	10,0	3	0,3	-
	25	-	-	-	-	0,273	36	9,9	4	0,4	-	-	-	-	-	0,273	38	10,4	3	0,3	-
	26	-	-	-	-	0,288	36	10,4	4	0,4	-	-	-	-	-	0,288	38	10,9	3	0,3	-
	27	-	-	-	-	0,303	36	10,9	4	0,4	-	-	-	-	-	0,303	38	11,4	3	0,3	-
	28	-	-	-	-	0,318	36	11,4	4	0,5	-	-	-	-	-	0,318	38	12,0	3	0,4	-
	29	-	-	-	-	0,334	36	11,9	4	0,5	-	-	-	-	-	0,334	37	12,5	3	0,4	-
	30	-	-	-	-	0,351	36	12,5	4	0,5	-	-	-	-	-	0,351	37	13,1	3	0,4	-
	31	-	-	-	-	0,368	35	13,0	4	0,5	-	-	-	-	-	0,368	37	13,7	3	0,4	-
ИЮН	1	-	-	-	-	0,386	35	13,6	4	0,5	-	-	-	-	-	0,386	37	14,3	3	0,4	-
	2	-	-	-	-	0,404	35	14,2	4	0,6	-	-	-	-	-	0,404	37	14,9	3	0,4	-
	3	-	-	-	-	0,423	35	14,8	4	0,6	-	-	-	-	-	0,423	37	15,6	3	0,5	-
	4	-	-	-	-	0,443	35	15,5	4	0,6	-	-	-	-	-	0,443	37	16,3	2	0,3	-
	5	-	-	-	-	0,464	35	16,1	3	0,5	-	-	-	-	-	0,464	37	17,0	2	0,3	-
	6	-	-	-	-	0,485	35	16,8	3	0,5	-	-	-	-	-	0,485	36	17,7	2	0,4	-
	7	-	-	-	-	0,507	35	17,5	3	0,5	-	-	-	-	-	0,507	36	18,4	2	0,4	-
	8	-	-	-	-	0,529	35	18,3	3	0,5	-	-	-	-	-	0,529	36	19,2	2	0,4	-
	9	-	-	-	-	0,552	34	19,0	3	0,6	-	-	-	-	-	0,552	36	20,0	2	0,4	-

Окончание таблицы 25

Дата	Личиночный контур										Мальковый контур 1										Вы- пуск
	Партия 1					Партия 2					Партия 1					Партия 2					
	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	W	N	B	R	K	
10	-	-	-	-	-	0,576	34	19,8	3	0,6	-	-	-	-	-	0,576	36	20,8	2	0,4	-
11	-	-	-	-	-	0,601	34	20,6	3	0,6	-	-	-	-	-	0,601	36	21,7	2	0,4	-
12	-	-	-	-	-	0,627	34	21,4	3	0,6	-	-	-	-	-	0,627	36	22,5	2	0,5	-
13	-	-	-	-	-	0,653	34	22,3	3	0,7	-	-	-	-	-	0,653	36	23,4	2	0,5	-
14	-	-	-	-	-	0,680	34	23,2	2	0,5	-	-	-	-	-	0,680	36	24,3	2	0,5	-
15	-	-	-	-	-	0,707	34	24,1	2	0,5	-	-	-	-	-	0,707	36	25,3	2	0,5	-
16	-	-	-	-	-	0,736	34	25,0	2	0,5	-	-	-	-	-	0,736	36	26,3	2	0,5	-
17	-	-	-	-	-	0,765	34	25,9	2	0,5	-	-	-	-	-	0,765	36	27,3	2	0,5	-
18	-	-	-	-	-	0,795	34	26,9	2	0,5	-	-	-	-	-	0,795	36	28,3	2	0,6	-
19	-	-	-	-	-	0,826	34	27,9	2	0,6	-	-	-	-	-	0,826	36	29,3	2	0,6	-
20	-	-	-	-	-	0,858	34	28,9	2	0,6	-	-	-	-	-	0,858	35	30,4	2	0,6	-
21	-	-	-	-	-	0,890	34	30,0	2	0,6	-	-	-	-	-	0,890	35	31,5	2	0,6	-
22	-	-	-	-	-	0,924	34	31,1	2	0,6	-	-	-	-	-	0,924	35	32,7	2	0,7	-
23	-	-	-	-	-	0,958	34	32,2	2	0,6	-	-	-	-	-	0,958	35	33,8	2	0,7	-
24	-	-	-	-	-	0,993	34	33,3	2	0,7	-	-	-	-	-	0,993	35	35,0	2	0,7	-
25	-	-	-	-	-	1,028	34	34,5	2	0,7	-	-	-	-	-	1,028	35	36,2	2	0,7	104
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: W – навеска, г; N: - численность рыб, тыс. шт.; B – биомасса, кг; R – рацион, %; K - расход корма, кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить современное состояние популяции сига Куршского залива, определить условия естественного воспроизводства, биологические популяционные параметры, разработать и апробировать на практике биотехнику искусственного воспроизводства сига с использованием установки замкнутого водоснабжения, а так же обосновать перспективы его искусственного воспроизводства.

По работе можно сделать следующие выводы:

1) Современное состояние популяции сига Куршского залива характеризуется недостаточным уровнем естественного воспроизводства и необходимостью его искусственного поддержания. Несмотря на это, нерестовой запас достаточен для заготовки производителей в целях искусственного воспроизводства, в том числе при расширении его масштабов до 500 тыс. шт. подращенной молоди навеской 1-2 г.

2) Нерест сига происходит в ноябре-декабре при температуре воды в заливе 0,5-7°C. Наиболее крупными нерестилищами сига являются банка расположенная на траверзе пос. Киевское и песчано-галечная гряда, протянувшаяся вдоль берега у пос. Рыбачий. Интенсивность подхода производителей в наибольшей степени определяется термическими условиями конкретного года и обуславливает особенности и эффективность заготовки производителей.

3) Нерестовое стадо представлено производителями длиной 26-67 см, массой 300-2600 г, соотношение самок и самцов непосредственно на нерестилищах колеблется от 1:4 до 1:1 в зависимости от года. Возрастная структура нерестового стада представлена особями возрастом 4-10 лет. Модальными группами в уловах являются самки и самцы в возрасте шести лет, длиной 36-38 см, массой самцы - 830 г, самки – 1080 г.

4) Рост сига в естественных условиях, оцененный на основе обратных расчислений, идет с незначительным замедлением и описывается уравнением

Берталанфи с параметрами $W_{\infty}=18148$ г; $K=0,070$; $t_0=-0,11$ ($R=0.98$). Связь длина-масса описывается степенным уравнением $w_0 = 0,0055$ и $w_1 = 3,2479$ ($R=0.99$).

5) Сига старше одного года в заливе практически не встречается. Сеголетки совершают миграцию из южной части залива в Балтийское море в течение июля-сентября и достигают массы в среднем 8,5 г (согласно результатам обратных расчислений) в возрасте одного года находясь уже в море. Следовательно, оптимальной навеской при искусственном воспроизводстве является 1-2 г, так как в этом случае молодь имеет время для адаптации к естественным условиям и миграции в Балтийское море.

6) Разработанная технология управления эмбриональным развитием дает возможность увеличения инкубационного периода на 30-40 дней, что обеспечивает получение двух партий личинок и их последовательное выращивание на одних и тех же рыбоводных мощностях.

7) Зависимость скорости роста от достигнутой массы особи в условиях УЗВ описывается логарифмической функцией. Рост молоди на протяжении всего периода выращивания хорошо описывается двумя типами лей: кусочно-экспоненциальной и Берталанфи. Первая модель более гибкая, но менее удобная для практического применения.

8) Основными лимитирующими факторами количества выращиваемой молоди являются мощность системы водоочистки по суточному количеству задаваемого корма, его фракции и этап развития молоди. Предельные возможности биофильтров с плавающей загрузкой составляют от 0,66 г/м² активной площади в сутки на начальном этапе выращивания, до 3,56 г/м² активной площади в сутки при выращивании молоди укрупненной навески.

9) Приемная емкость Куршского залива для поддержания стабильной популяции сига, согласно разработанной математической модели, составляет для разных вариантов расчета 2-8 млн. шт. Эта величина значительно превышает настоящий уровень искусственного воспроизводства, который, таким образом не нарушает равновесие экосистемы.

10) Повышение эффективности выращивания молоди сига в УЗВ на 60% возможно за счет применения «дробного» вылупления и комплексного использования бассейнов разного типа с учетом установленных предельных мощностей биофильтров, а также оптимальной навески выпускаемой молоди.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Целесообразно интегрировать процесс заготовки производителей для цели искусственного воспроизводства с функцией ведения мониторинга состояния нерестовой популяции сига Куршского залива. С этой целью необходимо осуществлять контрольные обловы на нерестилищах в течение всего периода нерестового хода. Это позволит:

а) обеспечить биологическое разнообразие выпускаемой молоди за счет получения половых продуктов от большего количества производителей, как рано, так и поздненерестующих;

б) получить количественные характеристики текущего состояния популяции сига.

Установить нормативную навеску в размере 1-2 г с целью обеспечения необходимых условий адаптации к естественным условиям Куршского залива выпускаемой молоди сига и ее миграции в Балтийское море с учетом биологических особенностей вида, это также позволит увеличить выпуск молоди до 250 тыс. шт., применяя разработанную методику получения двух партий личинки сига.

Учитывая рассчитанную приемную емкость Куршского залива по сигу целесообразно увеличение объемов искусственного воспроизводства до 500 тыс. шт. подрошенной молоди. Помимо решения задачи по восстановлению запаса сига, это позволит повысить рентабельность существующего производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Н.К. Пробатов А.Н. Зоогеографический очерк пресноводной ихтиофауны Калининградской области // Труды: Калининград. Техн. Ин-та рыбн. пром-сти и хоз-ва, 1969. Вып 24. С. 7-15.
2. Анурьева А.С. Сравнение морфометрических показателей двух экологических форм сига (*Coregonus lavaretus* L.) в водоемах Калининградской области/ А.С. Анурьева, Е.В.Шпокайте, Л.В. Шибает // Известия Калининградского государственного технического университета, 2012. №24. С. 28-35.
3. Аристова Т.И. Бентос Куршского залива // Сб. науч.тр./ АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1965. №14. С.19-40.
4. Баканов А.И. О репрезентативности данных по кормовой базе рыб - бентофагов //Вопр. Ихтиол. 1979. Т.19, вып. 6(119). С. 1133-1136.
5. Баканов А.И. Распределение макрозообентоса и количественный учет кормовой базы рыб-бентофагов: дис. ... канд. биол. наук. М, 1983. 318с.
6. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.Л.: АН СССР, 1948. С.145-156.
7. Берникова Т.А. Физико-географическая и гидрологическая характеристика // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 14-25.
8. Вахрушева С.А., Сыроватская В.Н. Динамика содержания нефтепродуктов в водах Куршского и Вислинского заливов в 1981-1984 годах // Антропогенное загрязнение отдельных промысловых районов Атлантического океана и заливов Балтийского моря: Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1988. С. 78-82.

9. Гайгалас К. С. Биологическая оценка добывающего промысла и его воздействия на состояние запасов рыб залива Куршю Марес и низовья р. Няуманас: автореф. дис. ... канд.биол.наук. Ленинград, 1964. 15 с.
10. Гайгалас К. С. Биологическое обоснование регулирования рыболовства в заливе Куршю Марес и низовье р. Нямунас // Вопр. Ихтиологии, 1965. Т. 5. Вып. 1 (34). С. 3–18.
11. Гайлюшис Б.В., Коваленковене М.К., Юргяленайте А.И. Изменение баланса пресных вод Куршского залива// Результаты изучения влияния строительства и эксплуатации международной (СССР, ГДР) железнодорожной и паромной переправы на экосистему и рыбные запасы Куршского залива: Сб. докладов Клайпедского совещания 19-20 января 1988 г. – Вильнюс: АН Литовской ССР, 1989. С. 16-18.
12. Гамыгин Е.А., Лысенко В.Я, Склярров В.Я., Турецкий В.Н. Корма для рыб, производство и методы кормления. М.: ВО «Агропромиздат», 1989. – 168 с.
13. Гасюнас И. Кормовой зообентос залива Куршю Марес // Куршю Марес. Итоги комплексного исследования – Вильнюс, 1959. С. 191-292.
14. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР // Балтийское море. - Санкт-Петербург, 1992. Т.3. С. .97-101.
15. Голубкова Т.А. Куршский залив. Физико-географическая и гидрологическая характеристика // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 14-20.
16. Горбунова З.А., Дмитренко Ю.С., Носатова Г.М., Стерлигов А.В. Инструкция по формированию и эксплуатации маточных стад сиговых рыб в озерах Европейского Севера. Петрозаводск : СевНИОРХ, 1977. 16 с.

17. Гуделис В.И. Геологические и физико-географические условия Куршю Марес и территории, окаймляющей залив // Куршю Марес - Вильнюс, 1959. С.7-40.
18. Гуделис В.И., Пустельников О.С. Биогеохимия Куршского залива. // Сборник статей – Вильнюс: АН Лит ССР, 1983. С 78-87.
19. Гуцин А.В., Маташенко О.Ю., Методические рекомендации по воспроизводству сига *Coregonus lavaretus* L. На акватории водоемов Калининградской области. ФГУ Запбалтрыбвод, АтлантНИРО. Калининград. 20 с.
20. Гуцин А.В., Маташенко О.Ю., Осадчий В.М. Перспективы искусственного воспроизводства балтийсконо сига (*Coregonus lavaretus* L.). В сб.: «Гидробиологические исследования в бассейне Атлантического океана». Сборник научных трудов Гидробиологического общества. АтлантНИРО. Калининград, 2000. С. 163-170.
21. Гуцин А.В., Маташенко О.Ю., Самсонов В.М., Сергеев А.М. Временные методические рекомендации по воспроизводству балтийского морского сига. – Калининград: АтлантНИРО, 1999. 20 с.
22. Дубра Ю. Водный баланс// Куршский залив – Вильнюс: Мокслас, 1978. Т.2. С. 50-70.
23. Дубра Ю. Особенности колебания уровня воды // Куршский залив. – Вильнюс: Мокслас, 1978. Т.2. С.7-16.
24. Дубра Ю. Течения // Куршский залив – Вильнюс: Мокслас, 1978. Т.2. С. 17-23.
25. Евдокимова Е.Б. Паразитофауна рыб // Озеро Виштынецкое. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 86-88.
26. Желтенкова М.В, Коган А.В. Об изучении использования рыбами кормовой базы //Вопр. ихтиол. 1985. Т. 25, вып.2. С. 256-263.

27. Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре.– Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. 664 с.
28. Жигин А.В. Пути и методы интенсификации выращивания объектов аквакультуры в установках с замкнутым водоиспользованием (УЗВ). – Дис....д-ра с.–х. наук: 06.02.04 Москва, 2002. 331 с.
29. Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа /под ред А.Ф. Алимова, М.Б. Иванова. –М.: Научный мир. 2004. 293 с.
30. Зубова Е.М, Кашулин Н.А. Морфология чешуи и роста сига *Coregonus lavaretus* (Coregonidae) Йокострвской Имандры. М. Вестник МГТУ, 2014. № 17. С.139-152.
31. Зубова Е.М. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской субарктики (на примере Мурманской области): Дисс... канд биол. наук. Пермь, 2015. 223 с.
32. Зыков Л.А. Метод оценки коэффициентов естественной смертности дифференцированных по возрасту рыб // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1986. – Вып. 243. С.14–21.
33. Зыков Л.А., Слепокуров В.А. Уравнение для оценки естественной смертности рыб (на примере пеляди оз. Ендырь)// Рыбное хозяйство. 1982. №3. С.36–37.
34. Зыкова Г.Ф. Зыков Л.А. Оценка коэффициентов естественной смертности рыб в разных возрастах // Тезисы докладов IV Всесоюзной научно конференции по проблемам долгосрочного прогнозирования (долгосрочны аспекты). Мурманск: ВНИРО–ПИНРО. 1989. С.83–85.
35. Инструкция по выращиванию молоди сиговых рыб на искусственных и живых кормах. Климов А.В., Новосельцева Р.И., Понамарев С.В., Стерлигов А.В. СевНИИПроект, ВНИИПРХ. Петрозаводск. 1989. 17 с.

36. Каганский Ю.С., Рыук Р.А. Изучение влияния компонентов сточных вод целлюлозно-бумажных заводов на зоопланктон Куршского и Вислинского заливов // Антропогенное загрязнение отдельных промысловых районов Атлантического океана и заливов Балтийского моря: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии.: Калининград, 1988. С.109-118.

37. Кирлис В. , Гярулайтис А. И др. Функциональные изменения экосистемы северной части Куршского залива // Биологические ресурсы водоемов Балтийского моря. Материалы 22 научной конференции по изучению водоемов Прибалтики. – Вильнюс: Инс-тут зоологии и паразитологии АИ Лит.ССР, 1987. С. 75-76.

38. Киселите Т. Зоопланктон залива Куршю Марес // Куршю Марес. Итоги комплексного исследования – Вильнюс, 1959. С. 463-521.

39. Климов А.В., Новосельцева Р.И., Понамарев С.В., Стерлигов А.В. Инструкция по выращиванию молоди сиговых рыб на искусственных и живых кормах. - Петрозаводск: СевНИИПроект, ВНИИПРХ, 1989. 17 с.

40. Князева Л.М., Костюничев В.В. Выращивание крупных сеголеток сиговых комбинированным методом на теплой и обычной воде. В сб. "Вопросы кормления и разведения форели и сиговых рыб. Тр. ГосНИОРХ, Вып. 325. СПб., 1997. С.113-131.

41. Князева Л.М., Костюничев В.В. Методические рекомендации по биотехнике промышленного выращивания рыбопосадочного материала сиговых. ГосНИОРХ, СПб., 1991. 30 с.

42. Князева Л.М., Костюничев В.В., Баранова В.П. Методические рекомендации по расчету основных рыбоводных показателей выращивания сиговых рыб промышленным способом. - СПб., ГосНИОРХ, 1995. - 22 с.

43. Костюничев В. В. Биологические основы выращивания сиговых рыб в промышленных условиях. Диссертации на соискание ученой степени

канд. биол. наук специальность 03.00.10 /Костюничев Валерий Валентинович; Гос. НИИ озерного и речного рыб. хоз-ва (ГосНИОРХ). - СПб.: Б.и., 1999. 209 с..

44. Краснопер Е.В. Оценка точности при определении пищевых потребностей рыб// Оценка погрешности методов гидробиологических и ихтиологических исследований.- Рыбинск: 1982.-с. 24-42.

45. Крылова О.И. Многолетняя динамика состояния зообентоса. // Изучить и оценить влияние применения удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов и его биологические исследования: Отчет о НИИ / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1990. С. 58-67.

46. Крылова О.И. Морфология дна и характер донных отложений. // Рыбные ресурсы Куршского залива. - Калининград: Калининградское книжное издательство, 1985. С.16-19.

47. Крылова О.И. Общая биологическая характеристика залива. // Рыбные ресурсы Куршского залива. - Калининград: Калининградское книжное издательство, 1985. С 30-57.

48. Крылова О.И. Функционирование планктона и бентоса Куршского и Вислинского залива Балтийского моря в связи с их экологическими различиями: автореф. дис. ... канд.биол.наук. Москва, 1984. 23 с.

49. Крылова О.И., Науменко Е.Н. Фитопланктон и первичная продукция Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. 1985. С. 14-32.

50. Крылова О.Н. Гидрологический и гидрохимический режим Куршского залива // Рыбные ресурсы Куршского залива. - Калининград: Калининградское книжное издательство, 1985. С. 19-29.

51. Кублицкас А.К. Питание бентосоядных рыб северной части залива Куршо Марес.-Материалы шестой научной конференции по изучению водоемов Прибалтики.: Вильнюс: Мокслас, 1958. С.15-17.

52. Кунскас Р. Физико-географическое описание Куршского залива // Курский залив – Вильнюс: Мокслас, 1978. Т.1. С. 11-48.

53. Курицын, Антон Евгеньевич. Морфо-экологическая характеристика сига - *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) озерно-речных систем Средней Карелии: диссертация ... кандидата биологических наук : 03.02.06 / Курицын Антон Евгеньевич; [Место защиты: Петрозавод. гос. ун-т].- Петрозаводск, 2011. 140 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-3/852

54. Лойс О.А. Приемная емкость экосистем для понто-каспийских ракообразных и расчет плотности их посадки/ О.А. Лейс, И.Н. Задоевко// Рыбн. хоз-во. 1973. №6. С. 27-29.

55. Манюкас И. Ихтиофауна, состояние запасов и промысел рыб в заливе Куршо Марес//Куршо Марес. Итоги комплексного исследования. Вильнюс: АН ЛитССР, Институт биологии, 1959. С.239-390.

56. Манюкас И.Л. Комплексные исследования Балтийского моря у берегов Литовской ССР (7. Рыбы) // Труды: Академия наук Литовской ССР, 1961. серия В, т.3. С.153-168.

57. Мельничук Г.Л. Методические рекомендации по применению современных методов изучению питания рыб и расчета рыбной продукции по кормовой базе в естественных водоемах.-Л.:Изд-во ГосНИОРХ, 1986.38с.

58. Мельничук Г.Л. Некоторые аспекты современного изучения питания рыб во внутренних водоемах // Сб. научных трудов ГосНИОРХ. 1984. Вып. 222. С. 3.

59. Мельничук Г.Л. Экология питания, пищевые потребности и баланс энергии молоди рыб водохранилищ Днепра//Изв. ГосНИОРХ. 1975. Т.101. 246 с.
60. Методические рекомендации по воспроизводству сига *Coregonus lavaretus* (Linnaeus,1758) на акватории водоемов Калининградской области. Гуцин А.В. Маташенко О.Ю. 2006. 20 с.
61. Методические рекомендации по расчету основных рыбоводных показателей выращивания сиговых рыб индустриальным способом. Князева Л.М., Костюничев В.В., Баранова В.П. ГосНИОРХ. СПб., 1995. 22 с.
62. Методические указания по выращиванию сеголетков сига в озерах-питомниках. Стерлигов А.В. СевНИОРХ, Петрозаводск. 1973. 19 с.
63. Методические указания по сбору и хранению икры сиговых рыб на временных рыбоводных пунктах, ее транспортировке и инкубации. Институт эволюционной морфологии и экологии животных, Центральное производственно-акклиматизационное управление Главрыбвода. М., 1987. 81 с.
64. Методические указания по сбору и хранению икры сиговых рыб на временных рыбоводных пунктах, ее транспортировке и инкубации. - М.: Институт эволюционной морфологии и экологии животных, Центральное производственно-акклиматизационное управление Главрыбвода, 1987. 81 с.
65. Мина М.В., Клевезаль Г.А. 1976. Рост животных. М.: Наука, 291 с.
66. Минкявичус А., Пипинис И. Обзор флоры и растительности залива Куршю Марес // Результаты Изучения влияния строительства и эксплуатации международной паромной переправы на экосистему и рыбные запасы Куршского залива / Сб. докладов Клайпедского совещания 19-20 января 1988 г. – Вильнюс, 1989. С.109-132.

67. Москаленко Б.К. Биологические основы эксплуатации и воспроизводства сиговых рыб обского бассейна. – Тюмень: Тюменское книжное изд-во, 1958. 252 с.
68. Науменко Е.Н. Биотические отношения сеголетков леща и зоопланктона в Куршском заливе. // Биологические ресурсы водоемов Балтийского моря. Материалы 22 научной конференции по изучению водоемов Прибалтики. – Вильнюс, 1987. С. 33-134.
69. Науменко Е.Н. Видовой состав зоопланктона Куршского залива Балтийского моря // Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1994. С.20-31.
70. Науменко Е.Н. Зоопланктон // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 32-34.
71. Науменко Е.Н. Многолетняя динамика и современное состояние зоопланктона. // Изучить и оценить влияние применения удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов и его биологические исследования: Отчет о НИИ / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии.: Калининград, 1990. С. 52-57.
72. Никольский Г. В. Экология рыб. М., 1963. 368 с.
73. Никоноров И.В. Экология и рыбное хозяйство. М: Экспедитор, 1996. С. 254 с.
74. Носкова Е.Д. Биологическая продуктивность Куршского залива // Труды: АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. 1971. – Вып. 46. С. 6-31.
75. Озеро Виштынецкое / Тылик К.В., Шибяев С.В., Берникова Т.А., Соколов А.В., Евдокимова Е.Б.и др. Калининград, 2008. 143 с.

76. Осадчий В. М. Регулирование рыболовства и стратегия использования рыбных ресурсов на Куршском заливе.: автореф. дисс. канд. биол. наук. Калининград, 2000. 24 с.

77. Осадчий В.М., Поляков О.А., Шибаетов Л.В. Динамика запасов европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря и меры по восстановлению его численности// Инновации в науке и образовании - 2010: VIII международная научная конференция, посвященная 80-летию образования университета (19-21 окт.): труды: в 3 ч./КГТУ. Калининград, 2010. Ч.1. С. 60-61.

78. Осадчий В.М., Поляков О.А., Шибаетов Л.В. О состоянии естественного и искусственного воспроизводства европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря// Рыбное хозяйство, 2011, №6. С. 72-73.

79. Осадчий В.М., Поляков О.А., Шибаетов Л.В. Современное состояние запасов европейского сига в Куршском заливе и пути их восстановления// Материалы седьмого всероссийского научно-производственного совещания по биологии, биотехники сиговых рыб. Тюмень, 15-19 февраля 2010. С.20-24.

80. Осадчий В.М., Сергеев А.М. Перспективы развития искусственного воспроизводства рыбных запасов в Калининградской области // Тезисы докладов научно-технического симпозиума «Современные средства воспроизводства и использования водных биоресурсов. Т.4. СПб.: Гипрорыбфлот, 2000. С. 117-119.

81. Панасенко В.А. Некоторые данные по зимнему питанию леща Куршского и Вислинского заливов (бассейн Балтийского моря) // Сб.науч.тр./ Калинингр.техн.университет рыб.пром-ти и хоз-ва. 1972. Вып.40. С. 42-47.

82. Панасенко В.А. Суточный ритм и рационы питания леща Куршского залива // Сб.науч.тр./ АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1973. Вып. 53. С. 116–124.

83. Пергамент Т.С. Бентос, как кормовая база рыб Куршского залива. // Труды: Балт.НИИ рыб.хоз-ва и океанографии. 1958. Вып. 4. С. 340-375.
84. Поддубный А.Г., Баканов А.И. О количественной оценке выедания бентоса рыбами //Вопр. ихтиол. 1980. Т. 20, вып.6(125). С.888-896.
85. Поддубный А.Г., Малинин Л.К., Терещенко В.Г. О точности оценки абсолютной численности рыб во внутренних водоемах //Оценка погрешностей методов гидробиологических и ихтиологических исследований /Тр.Института биологии внутренних вод АН СССР. Рыбинск, 1982. Вып. 49(52). С. 83-102.
86. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) – М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
87. Правдин И.Ф. Сиги водоемов Карело-Финской ССР. М-Л: Изд-во АН СССР, 1966. 285 с.
88. Райнис А. Климат Куршского залива и его окрестностей // Куршский залив. Вильнюс: Мокслас, 1978. Т.1. С. 51-64.
89. Ревусь Е.Д. Зоопланктон и его динамика в Куршском заливе // Сб.науч.тр. / Балт. НИИ рыб.хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1961. Вып.7. С.125-140.
90. Решетников Ю. С. Современный статус сиговых рыб и перспективы использования их запасов // Биология сиговых рыб. М.: Наука, 1988. С. 5-17.
91. Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.
92. Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищевая пром-сть, 1979. 408 с.

93. Рудзянскене Г.Г. Оценка современной роли хищных рыб в экосистеме Куршского залива. // Тезисы доклада съезда всесоюзного гидробиологического общества. Мурманск, 1991. С. 69-70.

94. Рудинская Л.В. Многолетняя динамика бентоса Куршского залива Балтийского моря. // Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1994. С. 41 - 49.

95. Рудинская Л.В., Бубинас А., Вайтонис Г. Зообентос // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 34-37.

96. Самохвалова Л.К. Биолого-промысловая характеристика морского сига Куршского залива. (Рукопись). АтлантНИРО. Калининград. 1989. 24 с.

97. Самохвалова Л.К., Носкова Е.Д., Янченко Н.Н. Особенности изменения биотических связей в экосистеме Куршского залива // Экологические исследования в Атлантическом океане и юго-восточной части Тихого океана: Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1987. С. 19-30.

98. Семенова С.И. Многолетняя динамика и современное состояние количественного развития и видового разнообразия фитопланктона. // Изучить и оценить влияние применения удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов и его биологические исследования: Отчет о НИИ / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1990. С. 42-51.

99. Сенин Ю.М. Мониторинг экологического состояния водной среды Куршского и Вислинского заливов в 1997 г.: Заключительный отчет / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1998. С. 11-22.

100. Сенин Ю.М. Характеристика количественно-качественных изменений экосистем Куршского и Вислинского заливов под влиянием антропогенного загрязнения азотом и фосфором / Рекомендации по снижению влия-

ния минеральных удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов: Отчет о НИИ / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1989. С. 18-67.

101. Сенин Ю.М. Характеристика показателей эвтрофирования Куршского и Вислинского заливов и современного состояния их биоценозов: Отчет о НИИ / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1990. С. 6-19.

102. Серпунин Г.Г. Биологические основы рыбоводства. М.:Колос, 2009. 381 с.

103. Снежина И.А. Вопросы обеспеченности пищей молоди рыб. // Труды: АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - 1971. Вып. 46. С. 118–123.

104. Снежина И.А. Суточные ритмы и рационы питания молоди рыб. // Труды: АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. 1971. Вып. 46. С. 89-116.

105. Соколова Л.М. Гидрохимические показатели эвтрофии // Изучить и оценить влияние применения удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов и его биологические последствия: отчет о научно-исследовательской работе / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1990. С.34-42.

106. Тылик К. В. Ихтиофауна водоёмов Калининградской области/ К. В. Тылик. Калининград, 2003. 135 с.

107. Тылик К.В. Рыбы трансграничных районов России и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2007. 127 с.

108. Уселите С. Фитопланктон залива Куршю-Марес и его сезонная динамика. // Куршю Марес. Итоги комплексного исследования. Вильнюс, 1959. С. 139-162.

109. Федеральный закон от 02.07.2013 N 148-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

110. Федеральный закон от 20.12.2004 N 166-ФЗ (ред. от 29.06.2015) "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов"

111. Биотехника искусственного воспроизводства рыб, раков и сохранение запасов промысловых рыб. Редакторы: к.б.н. Хайновский К.Б., док – р ест. Наук Будрене А., Скябене С., Жалакявичене И. - Вильнюс, 2008. – 222 с.

112. Хлопников М.М. Оценка экономического ущерба от эвтрофирования // Изучить и оценить влияние применения удобрений на эвтрофирование Куршского и Вислинского заливов и его биологические последствия: отчет о научно-исследовательской работе / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1990. С.156-141.

113. Хлопников М.М. Состояние запасов рыб и их динамика в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря в современных экологических условиях // Гидробиологические исследования в Атлантическом океане и бассейне Балтийского моря: Сб.науч.тр. / АтлантНИИ рыб.хоз-ва и океанографии. Калининград, 1994. С. 71-82.

114. Хлопников М.М., Голубкова Т.А., Репечка А. Промысловая характеристика ихтиофауны // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 77-88.

115. Червинскас Э. Основные черты гидрологического режима // Куршю Марес. Вильнюс, 1959. С.47-65.

116. Шibaев Л.В. Опыт стимулирования дискретного выклева сига (*Coregonus Lavaretus*) в условиях установки замкнутого водоснабжения // Научная конференция "Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов", 25 - 26 сентября. Калининград, 2013. С. 141-144.

117. Шибает Л.В., Шибает С.В., Мычкова А.В., Рост сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива // Известия КГТУ, №40, 2016. С. 43-54.
118. Шибает С.В. Промысловая ихтиология. Калининград: ООО «Аксиос», 2014. 535 с.
119. Шибает С.В. Рост, баланс энергии и обеспеченность пищей леща Чебоксарского водохранилища // Сб. науч. тр. / ГосНИОРХ. 1987. № 276. С 93-109.
120. Шибает С.В. Системный анализ в рыбохозяйственных исследованиях // Калининград: Изд-во КГТУ, 2004. 311 с.
121. Шибает С.В., Новожилов О.А., Алдушин А.В., Шибает Л.В., Поляков О.А. Применение ГИС-анализа для научно-технического обоснования мелиоративных работ на внутренних водоемах Калининградской области // Труды IX Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2012» // КГТУ. Калининград, 2012. С. 74-75.
122. Шибает С.В., Тылик К.В., Осадчий В.М., Федоров Л.С. Структура и функции интегрированной региональной информационной системы контроля и управления водными биоресурсами // Тез. докл. VIII съезда ГБО РАН. Калининград, 2001. Т. 2. С. 211.
123. Шибает С.В., Тылик К.В., Осадчий В.М., Федоров Л.С. Результаты и перспективы внедрения современной информационной технологии в практику рыбоохранной деятельности на водоемах Калининградской области // Современные средства воспроизводства и использования водных биоресурсов <ИНРЫБПРОМ-2000>. Тез. докл. Т. 1. С. 43-45.
124. Шибает Л.В., Шибает С.В., Соколов А.В. Нерестовый ход сига в Куршском заливе и его зависимость от термического условия года // Рыбное хозяйство. 2012. №2. С. 79-81

125. Шибает Л.В., Шпокайте Е.В. Характеристика нерестового стада сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива // Известия Калининградского государственного технического университета. 2014. №32. С. 91-98.
126. Шибает, Л.В., Шибает С.В. Нерестовый ход сига в Куршском заливе и влияние на него температурных условий года // Рыбное хозяйство. 2012 г. С. 79-81.
127. Юревичус Р. Гидрохимическая характеристика залива Куршю Марес // Куршю Марес - Вильнюс, 1959. С.69-101.
128. Янкавичюс К.К., Баранаускаене А.Ю. Экологические закономерности распределения микроорганизмов залива Куршю Марес // Тезисы докладов шестой научной конференции по изучению водоемов Прибалтики. Вильнюс: Мокслас, 1958. С. 25-28.
129. Benecke B. Fische Ficherei und Fischzucht in Ost- und Westpreussen. Königsberg, 1881.
130. Cervinskas, Ed. Vandens apykaita tarp Kursiu mariu ir Baltijos jurus. Disertacija, Vilnius, 1955.
131. Czerniejewski, P; Rybczyk, A Growth rate and condition of a population of migratory common whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), from Oder estuary waters // Arch. Pol. Fish., 2010. 18: 25-32.
132. Falkowski S., Wołos A. 2007 – Whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), in the fisheries management of Lake Gołdapiwo (Northeastern Poland) from 1950 to 2005 – Arch. Pol. Fish. 15: 103-116.
133. Freyhof, J., 2002. Freshwater fish diversity in Germany, threats and species extinction. pp. 1-22 In M.J. Collares-Pereira, I.G. Cowx and M.M. Coelho. Conservation of Freshwater Fishes: Options for the Future. Fishing News Books.
134. HELCOM Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct. Balt. Sea Environ. Proc. No. 140. 2013. 106 c.

135. *Coregonus maraena*// [Электронный ресурс]. URL:<http://www.fishbase.se/summary/Coregonus-maraena.html> (дата обращения: 15.12.2015).

136. Jagminienė I. The dynamics of the structure and productivity of benthocenosis in the northern part of the Kuršių marios Lagoon. Summary // *Žuvininkystė Lietuvoje* – 1994. t.1. P. 102-103.

137. Kottelat, M. and J. Freyhof, 2007. Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin. 646 pp.

138. Kottelat, M., 1997. European freshwater fishes. *Biologia* 52, Suppl. 5:1-271. (Ref. 13696)

139. Kuzminski H., Dobosz S. 2007 – Growth and fecundity of migratory whitefish (*Coregonus lavaretus lavaretus*) reared at ZHR£ Rutki and a “wild” population from the Puck Bay – In: Reproduction, rearing and prophylactics of lake fish and other species (Eds) J. Wolnicki Z. Zakęoe, R. Kamiński, Wyd. IRS, Olsztyn: 139-145 (in Polish).

140. Lazauskienė L. Possible consequences of the Klaipėda Port reconstruction for the ecological state and fish stocks in the Kuršių marios Lagoon and the Baltic Sea coastal zone. Summary // *Žuvininkystė Lietuvoje* – 1994. t.1. P. 91-92.

141. Lazauskienė L., Bubinas A., Klimašauskenė V., Jaminienė I., Vaitonis G. Assessment of forage resources in Kuršių Lagoonę Nemunas Delta and Baltic Sea nearshore (Lithuanian economic zone) // *Žuvininkystė Lietuvoje*. 1996. t.2. p. 59-60.

142. Martyniak A., Hliwa P., Kozłowski J., Wziatek B., Heese T., Sobocki M. Some aspects of the anadromous population of whitefish (*Coregonus lavaretus lavaretus*) from lake Lebsko (Northern Poland) // *Arch. Pol. Fish.*, 2004. 12: 51-59.

143. Martyniak A., Hluwa P., Koslowsky J., Wzaiqtek B, Heese T., Sobocki M. Some aspects of the biology of the anadromous population of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from lake Lebsko (Northern Poland)// Archives of Polish Fisheries, 2004. Vol. 12, Fasc. 1, p. 51-59.

144. Oldenburg K., Stapanian M.A., Ryan P.A., Holm E. 2007 – Potential strategies for recovery of lake whitefish and lake herring stocks in Eastern Lake Erie – J. Great Lakes Res. 33: 46-58.

145. Repečka R. Biology and resources of the main commercial fish species in the Lithuanian part of the Curonian Lagoon // Freshwater fish and the herring population in the coastal lagoons Environment and fisheries / Proceedings of Symposium - Sea Fisheries Institute.-Gdynia,1999. P. 185–195.

146. Schmidt-Ries H. Untersuchungen zur Kenntnis des Pelagials eines Strangewassers (Kurisches Haff) // Zeitchriften für Fischerei und deren Hilfswissenschaften. – 1940. Bd.6, H.2. 325 s.

147. Szczepkowski M, et al. Growth rate and reproduction of a brood stock of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from Lake Galaduoë under controlled rearing conditions. Arch. Pol. Fish. (2010) 18: 3-11. P. 25-32.

148. Szczepkowski M., Szczepkowska B., Krzywosz T., Wunderlich K., Stabinski R. Growth rate and reproduction of a brood stock of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from Lake Ga³aduoë under controlled rearing conditions // Arch. Pol. Fish., 2010. - 18: 3-11.

149. Szidat L. Beiträge zur Faunistik und Biologie des Kurisches Haff // Schriften der Physikalisch-economischen Gesellschaft zur Königsbergi Pr. – 1926. – Bd. 65, H 1. S. 5-31.

150. Szidat L. Beiträge zur Faunistik und Biologie des Kurisches Haff // Schriften der Physikalisch-economischen Gesellschaft zur Königsbergi Pr. – 1926. – Bd. 65, H 1. S. 5-31.

151. Willer A. Vergleichende Untersuchungen an den Strandgewässern // Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie. – Stuttgart, 1931. Bd. 5, Teil. 1. S. 3-35.

152. Winfield I.J. Fletcher J.M., James J.B. 2004 – Modelling the impacts of water level fluctuations on the population dynamics of whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.) in Haweswater, U.K. *Environ. Biol. Fish.* 4: 409-416.

153. Witkowski A., Blachuta J., Kotusz J., Hesse T. 1999 – Red list of freshwater ichthyofauna in Poland – *Chrońmy Przyr. Ojcz.* 55: 5-19 (in Polish).