

**ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА «СТРОНГА»
НА РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИЧИНОК РАДУЖНОЙ
ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*, WALBAUM, 1792)**

М. С. Лиман^{1,2}, Н. В. Барулин¹, В. Ю. Плавский³

¹*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, ул. Мичурина 5, 213407, Могилевская область, Беларусь,
e-mail: barulin@list.ru*

²*Национальный центр продовольствия, г. Абуджа, Нигерия*

³*ГНУ «Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси».
г. Минск, пр-т Независимости, 68, Беларусь*

**INFLUENCE OF THE LASER-OPTICAL DEVICE "STRONGA"
ON THE SIZE AND WEIGHT PARAMETERS OF RAINBOW TROUT
LARVAE (*ONCORHYNCHUS MYKISS*, WALBAUM, 1792)**

M. S. Liman^{1,2}, N. V. Barulin¹, V. Y. Plavskii³

¹*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Michurina 5,
213407, Mogilev region, Belarus, e-mail: barulin@list.ru*

²*National Productivity Centre, Abuja, Nigeria*

³*B.I. Stepanov Institute of Physics, Minsk, Belarus*

Резюме. В работе представлены результаты исследований влияния оптического излучения низкой интенсивности на личинок радужной форели в производственных условиях индустриального инкубационного цеха. В качестве источника излучения использовали лазерно-оптический прибор «Стронга» (красная область спектра, $\lambda = 630$ нм) в течение пяти дней по 20 минут в день при плотности мощности оптического излучения $3,0$ мВт/см². В течение исследований осуществляли регулярную регистрацию размерно-весовых показателей. Представленные данные позволяют заключить, что излучение лазерно-оптического прибора «Стронга» оказывает стимулирующий эффект на размерно-весовые показатели личинок радужной форели. Величина стимулирующего эффекта по показателю средней массы к 31 дню наблюдения достигала 33,3 %, по размерным показателям к 31 дню наблюдения варьировала от 5,1 до 11,0 % (в зависимости от показателя).

Ключевые слова: лазерное и оптическое излучение, аквакультура, инкубационный цех, икра, радужная форель, лососевые.

Abstract. The paper presents the research results of low intensity optical radiation effect on the rainbow trout larva in aquaculture hatchery. The radiation source was laser-optical device «Stronga» (red spectrum, $\lambda = 630$ nm) for five days to 20 minutes a day with the power density 3.0 mW / cm². During the research out

regular check size and weight of larva. The results show, that laser-optical device «Stronga» has a stimulating effect on the rainbow trout larva. The stimulating effect by the 31st day of observation increased to 33.3% for larva weight and from 5.1 to 11.0% for larva size (depending on the size indicator).

Keywords: laser and optical radiation, aquaculture, hatchery, eggs, rainbow trout, salmon.

Введение. В настоящее время в Беларуси активно развивается аквакультура рыбоводных индустриальных комплексов, работающих по технологии установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Так, только за последние годы в стране реализовано 13 проектов, направленных на создание УЗВ по выращиванию осетровых, лососевых, клариевых, угревых рыб [1]. УЗВ позволяют повысить уровень интенсификации технологии воспроизводства большинства объектов аквакультуры.

Индустриальные методы выращивания, интенсификация производства и искусственные условия являются сильнейшими стрессовыми факторами для эмбрионального развития, приводя к снижению основных физиологических показателей, выживаемости и жизнестойкости на протяжении всей жизни рыбы, в т.ч. к появлению морфологических аномалий [2]. Поэтому, в период эмбрионального развития в условиях индустриальной аквакультуры, необходимо осуществлять коррекцию развития, с использованием различных факторов воздействия на организм.

Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение, которое с успехом используется в медицине для лечения, коррекции и терапии в различных направлениях.

Как показали наши многолетние исследования, лазерное излучение, а также излучение сверхярких светодиодов оказывает стимулирующее воздействие на осетровых рыб и их половые продукты (икру и сперму), а также на развитие жаброногих рачков [3, 4]. Проведенные исследования послужили основой для создания типоряда лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов для облучения икры ценных видов рыб, инкубирующейся в неподвижном положении [5].

Цель наших исследований заключалась в изучении влияния лазерно-оптического прибора «Стронга» на размерно-весовые показатели личинок радужной форели в производственных условиях индустриального инкубационного цеха.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного индустриального комплекса УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (рыбокомплекс УО БГСХА) в 2016 – 2017 годах. Объектом исследований являлись однополые эмбрионы (оплодотворенная икра на стадии глазка) самок радужной форели.

Оплодотворенная икра на стадии глазка закупалась в рыбопотомнике Viviers de Sarrance (Франция), которая транспортировалась в термопластиковой таре со льдом на самолете. Затем икра проходила адаптацию в инкубационном цехе рыбоводного индустриального комплекса, работающим по принципу УЗВ, включающая в себя лотки для доинкубации, систему механической и биологической очистки, а также оксигенацию и обеззараживание воды УФ-облучением.

В течении исследований осуществляли регулярную регистрацию размерно-весовых показателей молоди радужной форели по следующим параметрам: средняя масса, общая длина, длина по Смитту, промысловая длина, длина головы, длина туловища, высота тела, антедорсальное расстояние, антевентральное расстояние [6]. На основании полученных размерно-весовых показателей осуществляли расчет индекса прогонистости, индекса большеголовости, индекса высокоспинности, абсолютного среднесуточного прироста, относительной скорости роста [7].

Фиксирование размерных показателей осуществлялось при помощи цифровой камеры Cyber - Shot DSC-P200 с последующей обработкой результатов при помощи программы ImageJ.

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, MASS, ggplot2, mgcv, corrplot [8-17], а

также программную среду *Circos* [18]. Для определения уровня статистической достоверности использовали параметрический тест Стьюдента. Параметрический тест использовали при условии соблюдения нормальности распределения данных (квантильный график, тест Шапиро-Уилка) и однородности групповых дисперсий. При несоблюдении указанных условий использовали *U*-критерий Манна-Уитни.

Для построения нелинейных моделей регрессии, использовали пакет *drc* программной среды *R* [13]. В настоящей работе использовали 13 следующих моделей: логнормальная модель (пробит) с четырьмя параметрами, *log*-логистическая модель с четырьмя параметрами, *log*-логистическая модель с тремя параметрами, *log*-логистическая модель с двумя параметрами, модель Weibull – 1, модель Weibull – 2, логистическая модель с четырьмя параметрами, модель Gompertz с четырьмя параметрами, экспоненциальная модель с тремя параметрами, экспоненциальная модель с двумя параметрами, модель Michaelis-Menten с тремя параметрами, модель Brain-Cousens с пятью параметрами, модель Cedergreen-Ritz-Streibig с четырьмя параметрами.

Лазерно-оптический прибор «Стронга» разработан на кафедре ихтиологии и рыбоводства совместно с Институтом физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси и представляет собой модуль оптического излучения, выполненный на базе матрицы отдельно расположенных светодиодных излучателей (красная область спектра, $\lambda = 630$ нм), каждый из которых содержит оптические преобразователи пучка оптического излучения, формирующие на поверхности воды перекрывающиеся световые пятна. При этом суммарное световое пятно, сформированное матрицей светодиодных излучателей с оптическими преобразователями пучка, соответствует внутреннему диаметру герметичной емкости. Поскольку, излучение светодиодных источников является неполяризованным, то на выходе светодиодного источника размещалась поляризационная пленка таким образом, чтобы плоскость поляризационной пленки была перпендикулярна диаграмме направленности излучения светодиодного источника. Это позволяло

обеспечить воздействие на гидробионты линейно поляризованным излучением [5].

Воздействие оптическим излучением осуществляли на эмбрионы радужной форели на стадии глазка в течении пяти дней по 20 минут в день при плотности мощности оптического излучения $3,0 \text{ мВт/см}^2$ (опытная группа). Плотность посадки эмбрионов и личинок, частота кормления и другие технологические условия (за исключением фактора воздействия) в контрольной и опытной группе соответствовали нормативным значениям [19].

Продолжительность наблюдения за контрольной и опытной группами составила 31 день, что обусловлено технологией и необходимостью перевода личинок в другие модули для дальнейшего выращивания [19].

Результаты исследований и их обсуждение. Как показали наши исследования, лазерно-оптический прибор «Стронга» способен оказывать влияние на изменение размерно-весовых показателей личинок радужной форели. Так, если через неделю после выклева средняя масса личинок радужной форели между исследуемыми группами достоверно не отличалась и варьировала от $0,12 \pm 0,01$ г. до $0,13 \pm 0,01$ г., то через 31 день после выклева значения средней массы составили: $0,43 \pm 0,02$ г. в контрольной группе и $0,57 \pm 0,02$ г. в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Общая длина личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $25,40 \pm 0,45$ мм до $26,14 \pm 0,35$ мм. Через 31 день после выклева значения общей длины составили: $37,74 \pm 0,89$ мм в контрольной группе и $40,98 \pm 1,05$ мм в опытной группе (рисунок 1, а). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина по Смитту личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $25,19 \pm 0,46$ мм до $25,79 \pm 0,35$ мм. Через 31 день после выклева значения длины по Смитту составили: $36,53 \pm 0,91$ мм в контрольной группе и $39,60 \pm 0,95$ мм в опытной группе (рисунок 1, б). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Промысловая длина личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $22,76 \pm 0,41$ мм до $23,30 \pm 0,30$ мм. Через 31 день после выклева значения промысловой длины составили: $32,94 \pm 0,88$ мм в контрольной группе и $35,45 \pm 0,85$ мм в опытной группе (рисунок 1, в). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

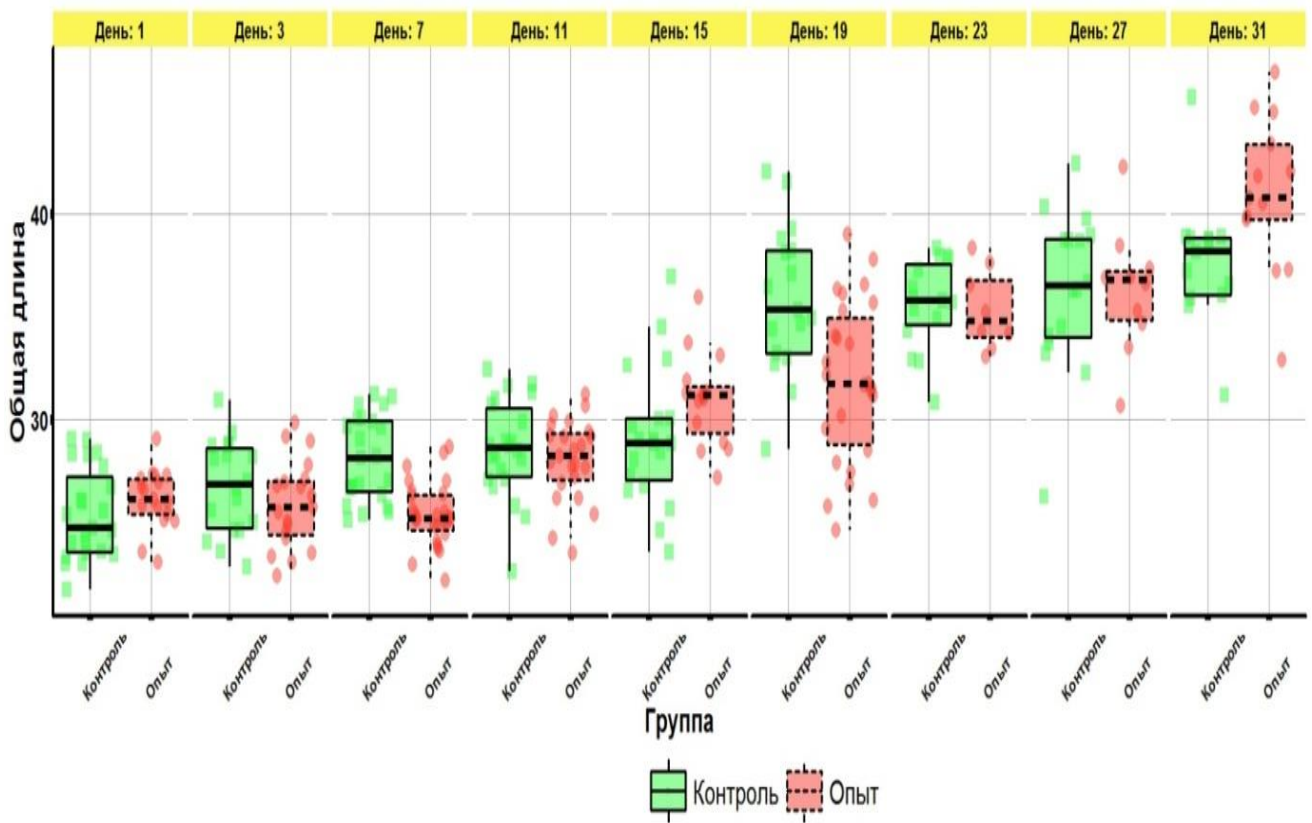
Длина головы личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $5,88 \pm 0,14$ мм до $5,98 \pm 0,15$ мм. Через 31 день после выклева значения длины головы составили: $8,99 \pm 0,16$ мм в контрольной группе и $9,77 \pm 0,21$ мм в опытной группе (рисунок 1, г). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина туловища личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $16,79 \pm 0,33$ мм до $17,28 \pm 0,25$ мм. Через 31 день после выклева значения длины туловища составили: $23,99 \pm 0,79$ мм в контрольной группе и $25,90 \pm 0,70$ мм в опытной группе (рисунок 1, д). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Высота тела личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $3,28 \pm 0,05$ мм до $3,33 \pm 0,05$ мм. Через 31 день после выклева значения высоты тела составили: $6,77 \pm 0,36$ мм в контрольной группе и $7,55 \pm 0,24$ мм в опытной группе (рисунок 1, е). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

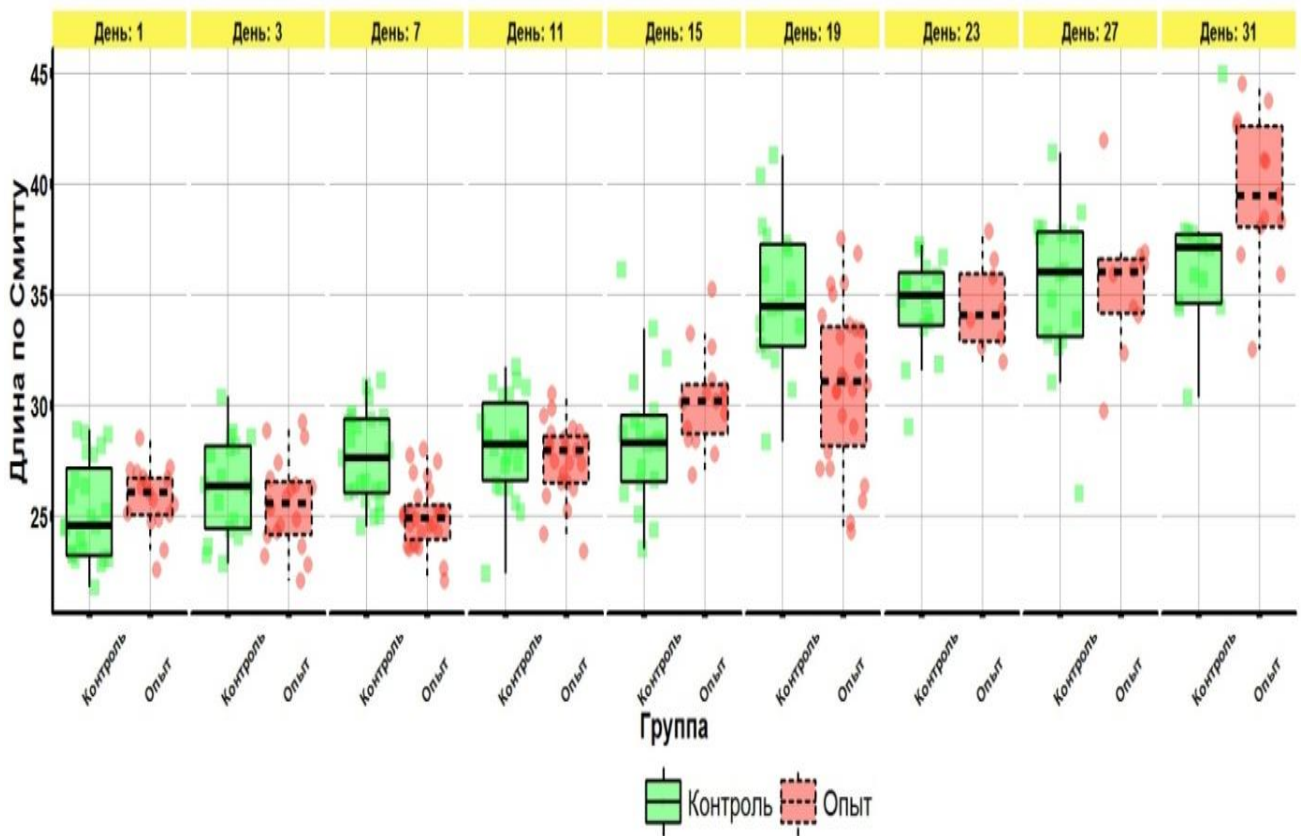
Антедорсальное расстояние при выклеве достоверно не отличалось и варьировала от $11,70 \pm 0,20$ мм до $11,95 \pm 0,19$ мм. Через 31 день после выклева значения антедорсального расстояния составили: $16,91 \pm 0,44$ мм в контрольной группе и $18,46 \pm 0,48$ мм в опытной группе (рисунок 1, ж). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Антевентральное расстояние при выклеве достоверно не отличалось и варьировала от $12,06 \pm 0,25$ мм до $12,57 \pm 0,26$ мм. Через 31 день после выклева значения антевентрального расстояния составили: $18,68 \pm 0,55$ мм в контрольной группе и $19,65 \pm 0,57$ мм в опытной группе (рисунок 1, з). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).



а

Рисунок 1. (начало рисунка)



б

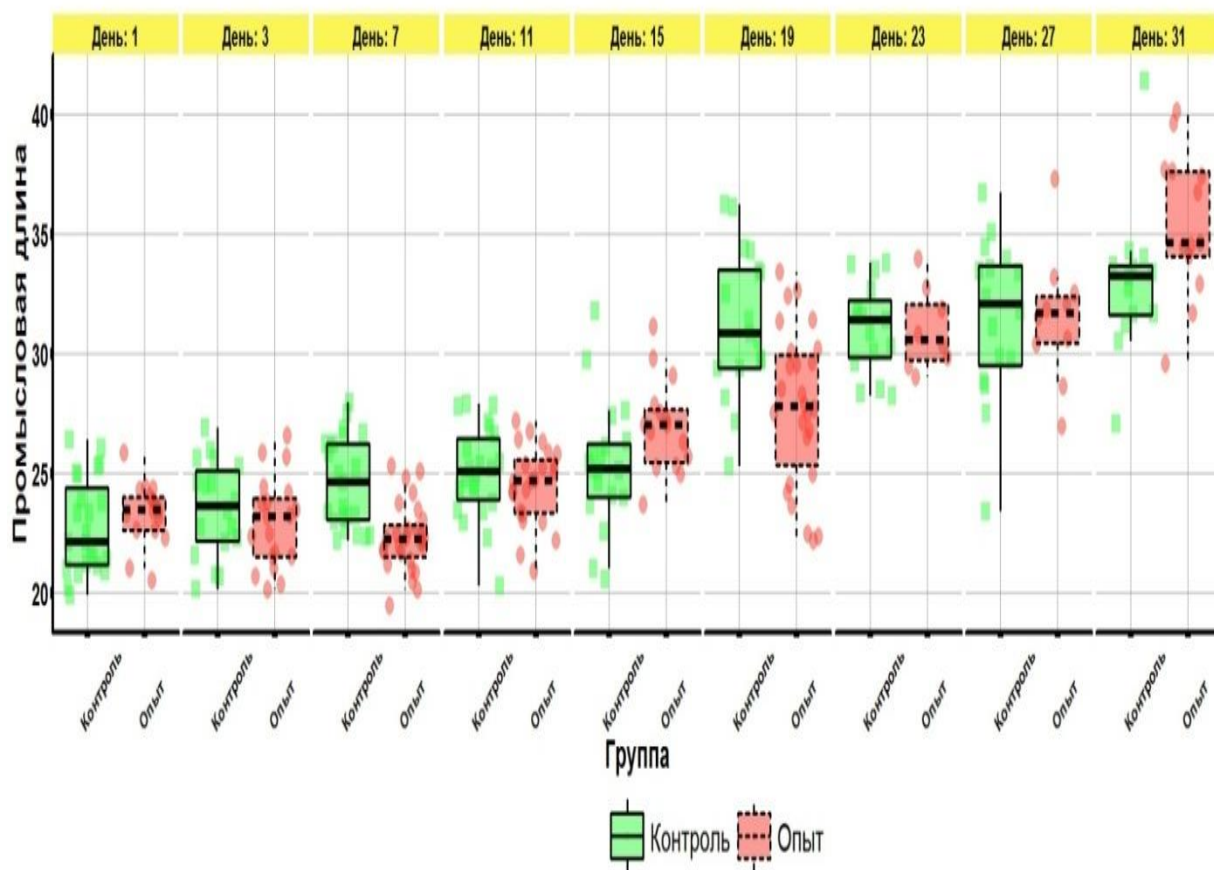


Рис. 1. (начало рисунка)

В

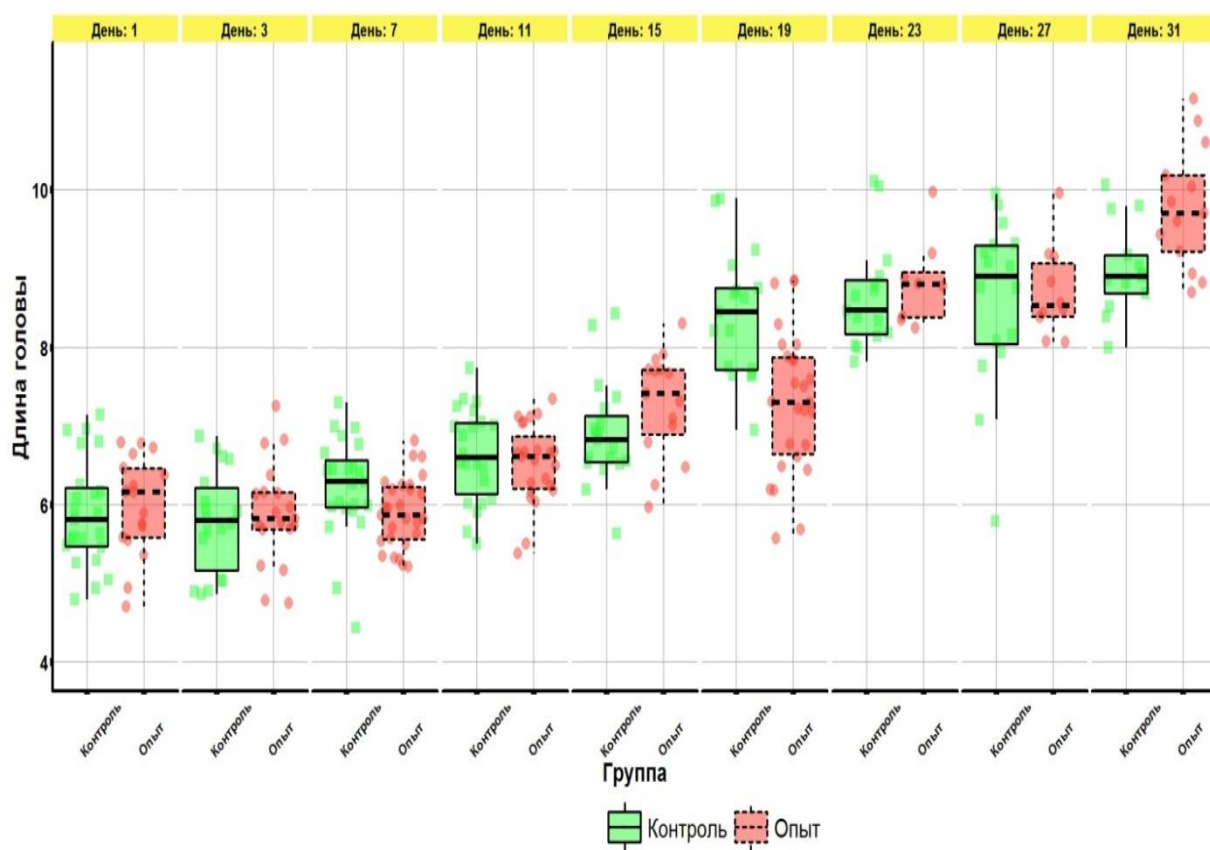
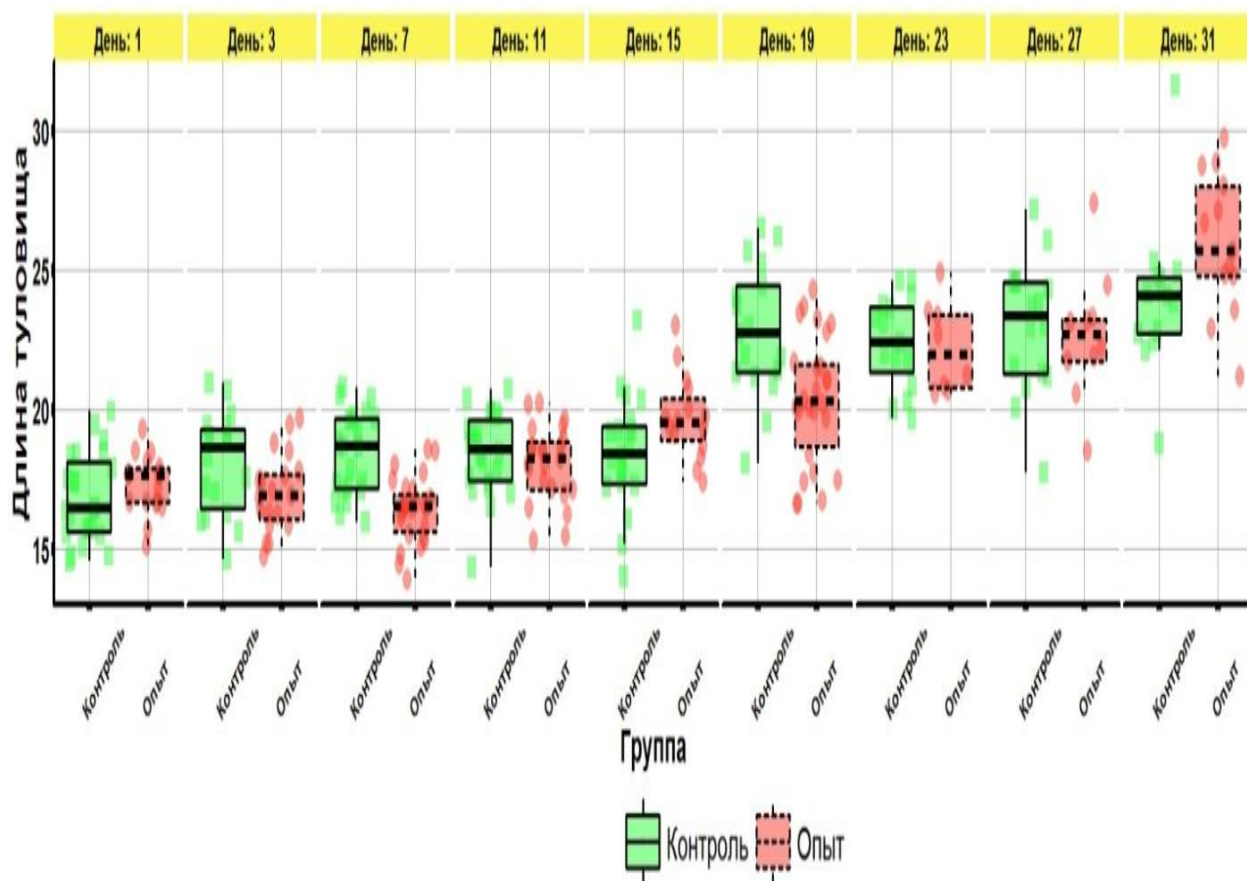
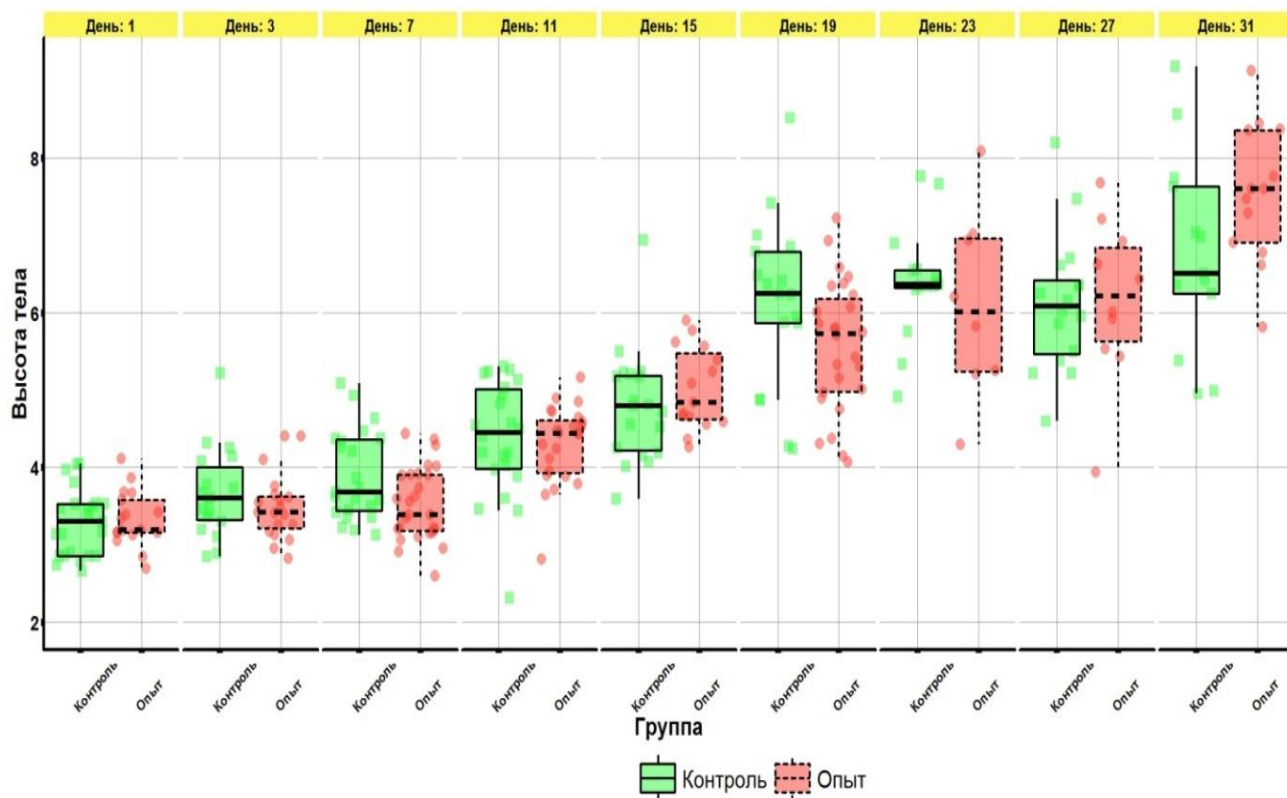


Рисунок 1. (продолжение рисунка)

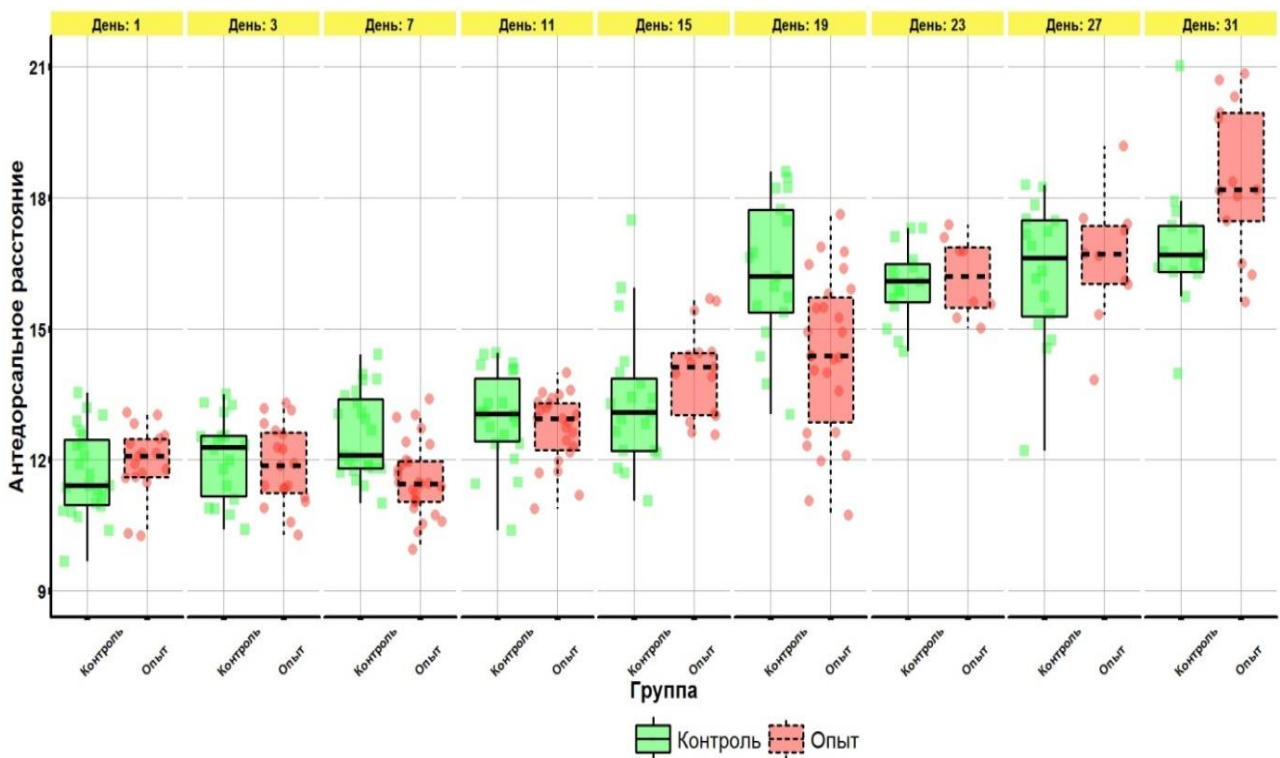
Г



Д

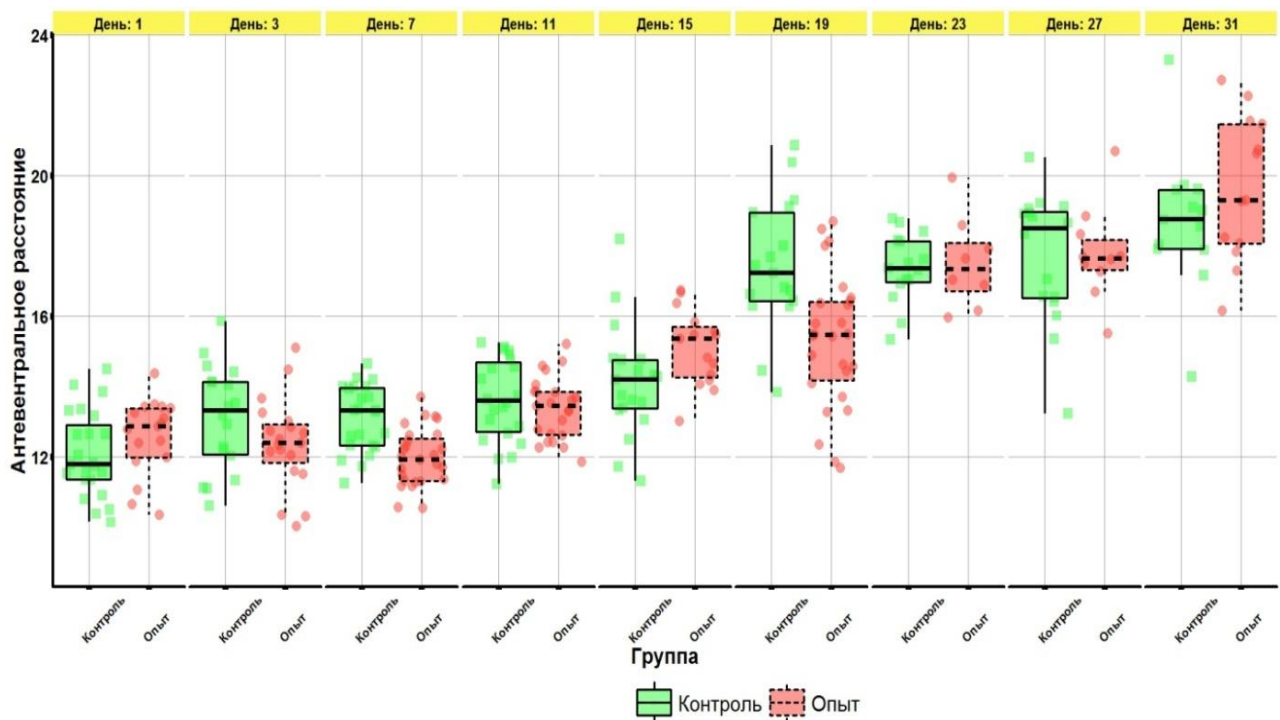


Е



Ж

Рисунок 1. (продолжение рисунка)



З

Рисунок 1. - Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов роста размерных показателей личинок радужной форели в контрольной и опытной группах: общая длина (а), длина по Смитту (б), промысловая длина (в), длина головы (г), длина туловища (д), высота тела (е), антедорсальное расстояние (ж), антевентральное расстояние (з). Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантили. N =10-20 (в зависимости от дня наблюдения).

Абсолютный среднесуточный прирост массы личинок сразу после выклева варьировал от 0,002 г до 0,008 г. Через 31 день после выклева абсолютный среднесуточный прирост массы составил 0,006 г в контрольной группе и 0,04 г. в опытной группе. Относительная скорость роста массы через 31 день после выклева в контрольной группе составляла 6,59 %, в опытной группе 34,25 % (рисунок 2).

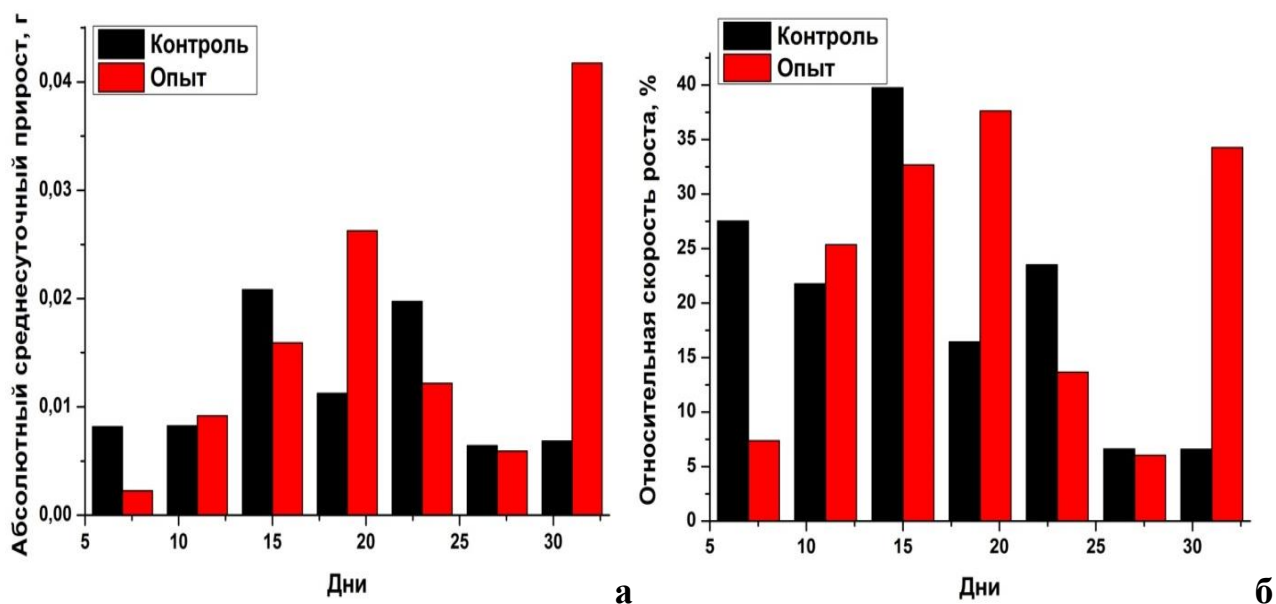


Рисунок 2. Столбиковая диаграмма изменения скорости роста массы личинок радужной форели в контрольной и опытной группах: абсолютный среднесуточный прирост (а), относительная скорость роста (б)

Для анализа влияния оптического излучения на темп роста массы личинок радужной форели нами были построены 13 вышеперечисленных нелинейных моделей регрессии с учетом классификации Ритца [20]. Селекцию лучших моделей осуществляли на основании значения логарифма правдоподобия ($\log\text{Lik}$). Так, при анализе темпа изменения средней массы в контрольной группе лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у логистической модели с четырьмя параметрами; в опытной группе лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у Log- логистической модели с четырьмя параметрами. Значения коэффициентов указанных моделей приведены в таблице 1. Визуализация отобранных моделей представлена на рисунке 3.

Таблица 1–Коэффициенты нелинейных моделей темпа роста (массы) личинок радужной форели в контрольной и опытной группах

Модель	Группа	
	Контрольная	Опытная
Коэффициенты:	Логистическая модель	Log- логистическая модель
b	-0,18540	-1,8205
c	0,07383	0,1022
d	0,45071	4,6645
e	16,30119	105,2283

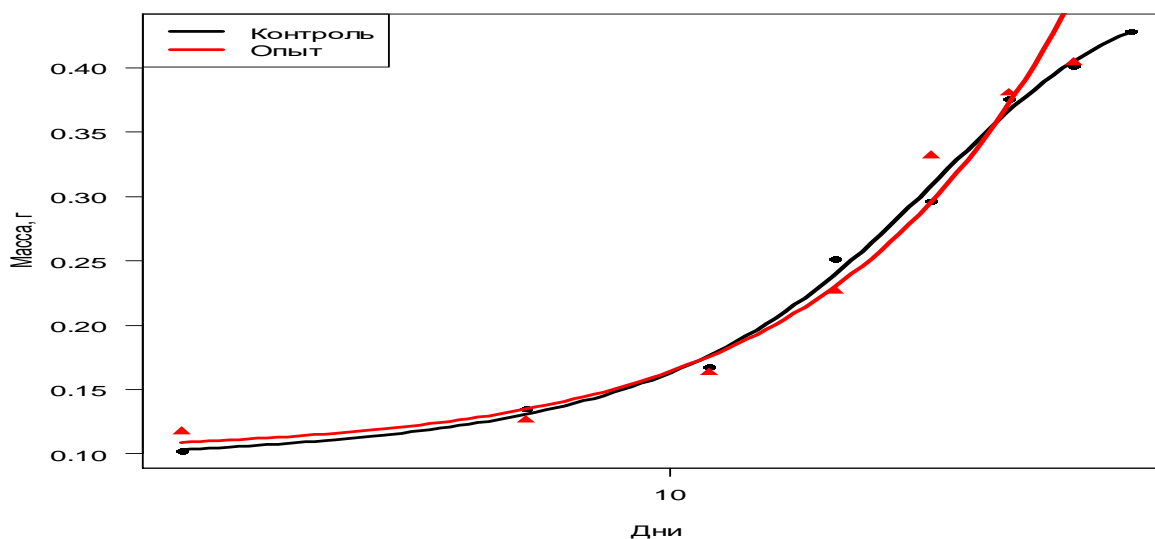


Рисунок 3 – Модели (логистическая модель с четырьмя параметрами (контрольная группа) и Log- логистическая модель с четырьмя параметрами (опытная группа)) темпа роста (массы) личинок радужной форели

Логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(x-e)\}} \quad (1)$$

Log- логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(\log(x)-\log(e))\}} \quad (2)$$

где параметры c и d являются нижним и верхним пределами отклика, b , e – параметры задаваемой нелинейной функции [22].

Анализ коэффициентов корреляции между размерными показателями личинок радужной форели позволил установить, что в контрольной группе через 31 день после выклева наблюдалась следующая сила связи: средняя положительная корреляция между высотой тела и общей длиной, длиной по Смитту, длиной туловища, андедорсальным расстоянием; сильную положительную корреляцию между всеми остальными размерными показателями. В опытной группе через 31 день после выклева наблюдалась сильная положительная корреляционная связь между всеми размерными показателями (рисунок 4).

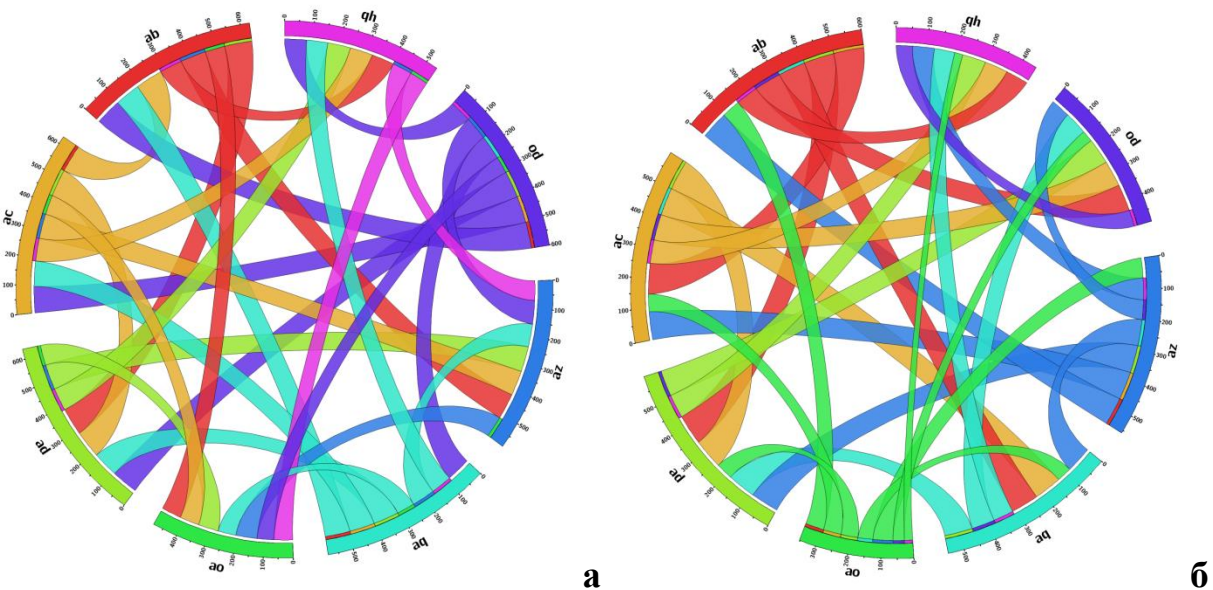


Рисунок 4. (начало рисунка)

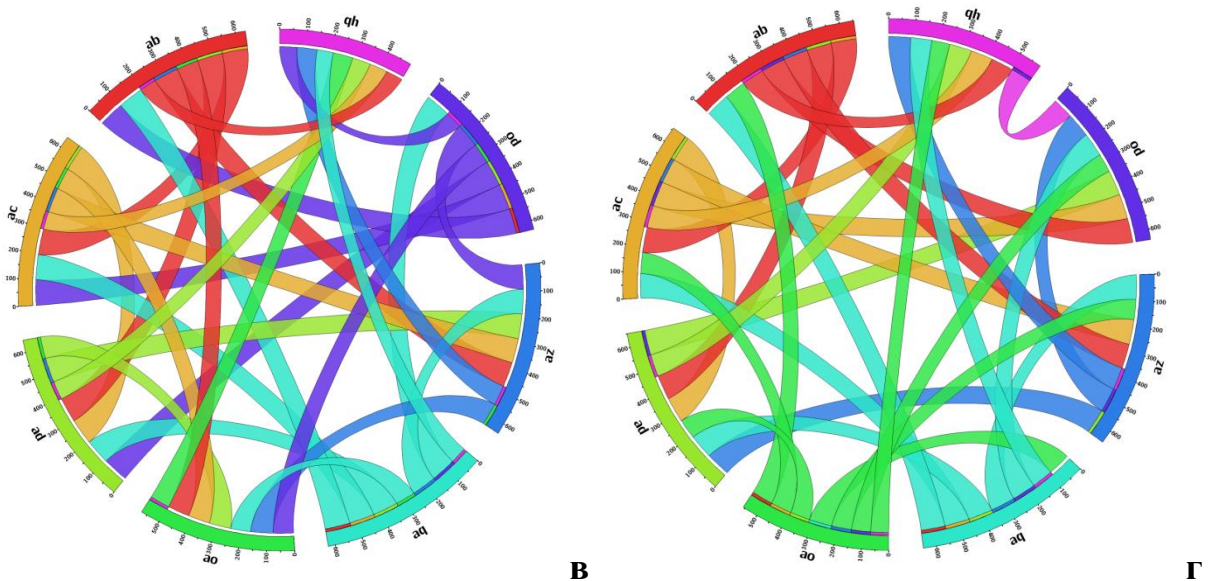


Рисунок 4. Корреляционная связь между размерными показателями личинок радужной форели в контрольной (а, в) и опытной (б, г) группе: (после выклева (а, б) и через 31 день после выклева (в, г)).

Цвет линии на рисунке обозначает соответствующий параметр: ab – общая длина, ac – длина по Смитту ad – промысловая длина, ao – длина головы, od – длина туловища, qh – высота тела, aq – антедорсальное расстояние, az – антевентральное расстояние.

Толщина линии зависит силы корреляционной связи

Экстерьерные индексы в исследуемых группах достоверно не отличались и варьировали следующим образом: сразу после выклева личинок индекс прогонистости от 6,98 до 7,04, индекс высокоспинности от 14,27 до 14,39, индекс большеголовости от 25,68 до 25,87. Через 31 день после выклева в контрольной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,97; 20,49; 27,39 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости, соответственно. Через 31 день после выклева в опытной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,72; 21,27; 27,63 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости, соответственно. Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Анализ коэффициентов корреляции между экстерьерными индексами не выявил достоверных отличий между исследуемыми группами (рисунок 5).

Представленные выше данные позволяют заключить, что излучение лазерно-оптического прибора «Стронга» оказывает стимулирующий эффект на размерно-весовые показатели личинок радужной форели после выклева. Величина стимулирующего эффекта по показателю средней массы к 31 дню наблюдения достигала 33,3 %, по размерным показателям к 31 дню наблюдения варьировала от 5,1 до 11,0 % (в зависимости от показателя). Обращают на себя внимание резкое увеличение абсолютного среднесуточного прироста массы и относительной скорости роста массы в опытной группе в течении последнего периода наблюдений, что свидетельствует о более раннем начале этапа перехода из стадии личинки в стадию малька.

Необходимо обратить внимание на высокие значения силы корреляционных связей размерных показателей личинок радужной форели в опытной группе, что на фоне высоких значений экстерьерных индексов, по

сравнению с контрольной группой, свидетельствует о более гармоничном развитии личинок.

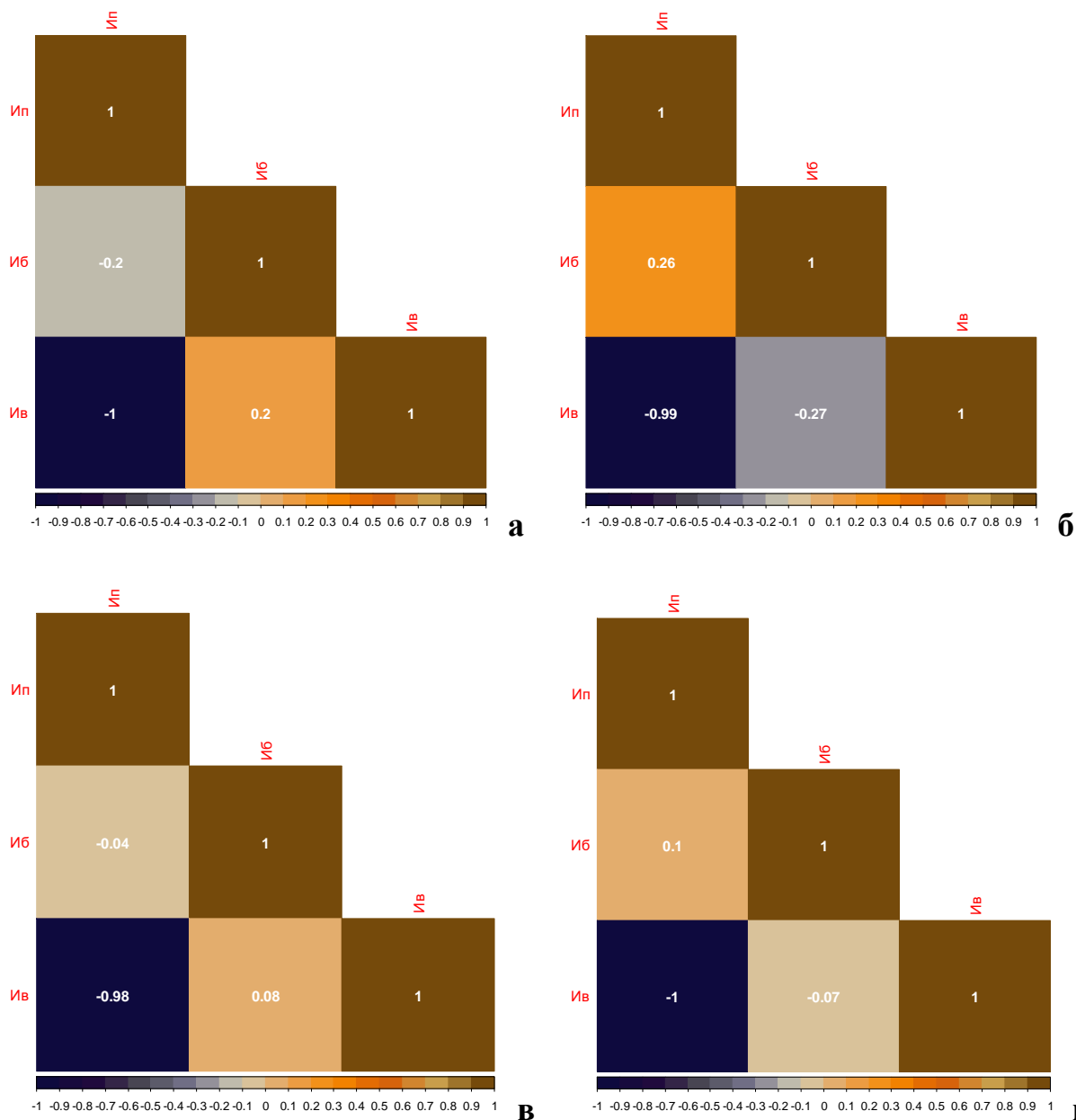


Рисунок 5. - Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей экстерьерных индексов личинок радужной форели в контрольной (а, в) и опытной (б, г) группе (после выклева (а, б) и через 31 день после выклева (в, г). Условные обозначения: Ип – индекс прогонистости, Иб – индекс большеголовости, Ив – индекс высокоспинности

На основании ранее проведенных исследований, мы считаем, что в основе фотофизического механизма, определяющего биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности при его воздействии на

эмбрионы рыб, кроме диполь–дипольных взаимодействий, лежит ориентационный эффект нефотохимической природы [21, 22].

Заключение

Таким образом, разработанные нами лазерно-оптические приборы «Стронга» для периодического светового воздействия на икру рыб в инкубаторе лоткового типа обеспечивает повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания лососевых рыб за счет стимуляции размерно-весовых показателей, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

Остается открытым вопрос о влиянии лазерно-оптического прибора «Стронга» на дальнейший рост и развитие рыбопосадочного материала радужной форели в промышленных условиях. Однако данный вопрос, тема последующих публикаций.

Список использованных источников

1. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2015. – № 3. – С. 107–111.

2. Портная, Т. В. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды / Т. В. Портная, А. И. Портной, А. А. Сопот // Животноводство и ветеринар. медицина. – 2015. – № 2 (17). – С. 26–33.

3. Барулин, Н. В. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, В. А. Орлович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Минск, 2012. – Вып. 28. – С. 42–49.

4. Плавский, В. Ю. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб / В. Ю.

Плавский, Н. В. Барулин // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству, Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2009. – Вып. 25. – С. 56–63.

5. Лиман, М. С. Лазерно-оптические приборы для повышения эффективности инкубации икры радужной форели и стерляди в рыбоводных индустриальных комплексах / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Минск, 2016. – Вып. 32. – С. 121–134.

6. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И. Ф. Правдин ; под ред. П. А. Дрягина, В. В. Покровского. – М. : Пищевая пром-сть, 1966. – 376 с.

7. Портная, Т. В. Рыбоводство. Устройство прудового хозяйства, воспроизводство, рост и развитие рыб : метод. указания к лабораторным занятиям для студентов специальности 1-74 03 01 «Зоотехния» / Т. В. Портная ; Белорус. гос. с.-х. акад., Каф. ихтиологии и рыбоводства. – Горки : [б. и.], 2014. – 40 с.

8. Шитиков, В. К. Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R. / В. К. Шитиков. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2016. – 149 с.

9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. – 2017. – URL <https://www.R-project.org/>.

10. Wood, S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models / S. N. Wood // J. of the Royal Statistical Society. Ser. B. – 2011. – Vol. 73, № 1. – P. 3–36.

11. Wickham, H. Ggplot2: elegant graphics for data analysis / H. Wickham. – Dordrecht [etc.] : Springer, 2009. – 212 p.

12. Venables, W. N. Modern applied statistics with S / W. N. Venables, B. D. Ripley. – New York : Springer-Verlag, 2002. – 495 p.

13. Dose-response analysis using R / C. Ritz [et al.] // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 10, № 12. – P. 1–13.
14. Corrplot: visualization of a correlation matrix [Electronic resources] // R package version 0.77. – 2016. – <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>
15. Fox, J. The R commander: a basic statistics graphical user interface to R / J. Fox // J. of Statistical Software. – 2005. – Vol. 14, № 1. – P. 1–42.
16. Мастицкий, С. Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R [Электронный ресурс] / С. Э. Мастицкий, В. К. Шитиков. – Хайдельберг ; Лондон ; Тольятти, 2014. – 401 с. – Режим доступа: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/Mastitsky%20and%20Shitikov%202014.pdf>. – Дата доступа: 15.11.2017.
17. Мастицкий, С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2 / С. Э. Мастицкий. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 222 с.
18. Circos: an information aesthetic for comparative genomics / M. Krzywinski [et al.] // Genome Research. – 2009. – Vol. 19, № 9. – P. 1639–1645.
18. Ritz, C. Dose-Response Analysis Using R / C. Ritz, F. Baty, J.C. Streibig, D. Gerhard // (2015) PLOS ONE. – 2015. – 10(12), e0146021.
19. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных индустриальных комплексах (с временными нормативами) / Н. В. Барулин [и др.]. - Горки: БГСХА, 2016. - 179 с.
20. Ritz, C. Towards a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology / C. Ritz // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2010. – Vol. 29, № 1. – P. 220–229.
21. Плавский, В. Ю. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб / В.Ю. Плавский, Н.В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008 – Т. 75, 2 – С. 233 – 241.
22. Плавский, В.Ю., Влияние поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы рыб / В.Ю. Плавский, Н.В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008. – Т.75, № 6. – С. 843 – 858.