

УДК 639.3.05  
ББК 47.285:40.13

*В. А. Власов, Н. И. Маслова, С. В. Пономарёв, Ю. М. Баканёва*

## ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РЫБ

*V. A. Vlasov, N. I. Maslova, S. V. Ponomarev, Yu. M. Bakaneva*

## EFFECT OF ILLUMINATION ON THE FISH GROWTH AND DEVELOPMENT

Обобщены результаты исследований авторов и данные литературных источников, приводится теоретическое и практическое обоснование содержания и выращивания многих видов рыб при различных световых условиях. Проводится анализ влияния на рост, потребление пищи и развитие рыб интенсивности освещения, фотопериодизма и спектрального состава света. Установлено, что условия освещенности являются одним из важных факторов, влияющих на эффективность подращивания личинок рыб. Наиболее четко это проявляется в вариантах с зеленым, синим и красным спектрами освещения. Способность к цветоразличению у рыб обусловлена наличием в сетчатке трех видов колбочек, пигменты которых имеют различные спектральные характеристики:  $\lambda_{\max} = 455, 530$  и  $625$  нм. Для каждого вида рыб характерен определенный оптимальный диапазон освещенности, при котором улучшается функционирование организма. В этих режимах энергобюджет молоди смещается в сторону массонакопления, а общее физиологическое состояние улучшается. Увеличение суточного периода освещения повышает скорость роста большинства видов рыб. Низкая освещенность негативно сказывается на развитии личинок и их дальнейшем росте.

**Ключевые слова:** освещенность, фотопериод, прерывистость освещения, спектральный состав света, фотоградиент, потребление корма, эмбриогенез, личинки, молодь, карп, сом, форель, лосось, толстолобик, сиги, зрение, сенсорная система.

The results of the authors' studies and the data of references are generalized, theoretical and practical justification of keeping and cultivation of many fish species under various light conditions are given. The analysis of influence on growth, consumption of food and development of fishes, intensity of lighting, photoperiodism and spectral structure of light is made. It is stated that conditions of illumination are one of the important factors influencing the efficiency of larvae breeding. Most accurately it is shown in options with a green, blue and red range of lighting. Ability to color discrimination of fishes is caused by the existence of three types of the flasks in a retina pigments of which have various spectral characteristics namely,  $\lambda_{\max} = 455, 530$  and  $625$  nanometers. Each species of fishes is characterized by a certain optimum range of illumination, at which organism functioning improves. In these modes the power budget of the young fish is displaced towards a weight growth, and the general physiological condition is improved. The extension in the daily period of lighting increases the growth rate of the majority of fish species. Low illumination negatively affects the development of larvae and their further growth.

**Key words:** illumination, photoperiod, intermittence of lighting, spectral structure of light, photogradient, forage consumption, embryogenesis, larvae, fry, carp, catfish, trout, salmon, silver carp, whitefishes, sight, touch system.

### Введение

Исследования влияния света на рыб представляют теоретический и практический интерес, т. к. позволяют выявить функциональные возможности организма в целом, отдельных его систем и использовать эти данные в технологическом процессе при выращивании рыбы в искусственных условиях.

Регулирование светового фактора, особенно при индустриальных методах выращивания, по интенсивности, продолжительности и цветовому спектру привлекает все больший интерес исследователей-рыбоводов мирового сообщества как перспективный метод интенсификации выращивания рыб и подготовки производителей к нересту.

Зрение является ведущей сенсорной системой для большинства позвоночных животных. С освещенностью связаны многие важные поведенческие реакции, такие как уход от хищника и захват добычи, суточный ритм питания, нерест. Как показали исследования Е. А. Бабуриной

(1972) [1], реакция на свет в онтогенезе различных видов рыб проявляется одной из первых, что свидетельствует о большом значении данного фактора в их жизни. Свет играет роль сигнального фактора при наполнении воздухом плавательного пузыря личинок, определяя направление движения к поверхности воды.

При выращивании различных видов рыб в установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) одним из важных абиотических факторов, оказывающих влияние на рост и развитие рыб, является свет. Реакция многих рыб на свет меняется в зависимости от интенсивности освещения, фотопериодизма, его спектрального состава, а также вида и возраста пойкилотермных животных [2–7].

Влияние условий освещенности на рост и развитие рыб существенно различается для рыб разных видов. Есть виды светолюбивые, а для некоторых рыб свет не имеет большого значения. У некоторых видов рыб ход обмена веществ нарушается при развитии в несвойственных им световых условиях, например у эмбрионов кеты – на свету [8], а у эмбрионов щуки – в отсутствие света [9].

Направленность фотореакции у различных видов рыб рассматривалась многими авторами [4, 5, 10]. Существующие точки зрения основываются на том, что отношение к свету у различных видов рыб в разные периоды онтогенеза различно и является приспособлением, увеличивающим возможность выживания.

Разные популяции рыб одного вида различаются неодинаковыми функциональными адаптациями, обусловленными наследственно закрепленными различиями реакции организма на изменения окружающей среды, в том числе на температуру и свет.

Влияние на рыб глубины связано с изменением освещенности. У рыб, живущих в верхних слоях воды, диаметр глаза составляет 19–29 % от длины головы, тогда как у рыб, живущих на глубине до 1 500 м – до 34 %.

Свет действует на центральную нервную систему через орган зрения, а затем центральная нервная система оказывает влияние на функцию гипофиза, который, в свою очередь, влияет на функцию половых желез. Половая периодичность рыб регулируется одним из внешних факторов – светом, а также внутренним – действием гипофиза, который является «трансформатором» света.

Известно существенное влияние освещенности на скорость и характер формирования структурно-функциональной организации центральной нервной системы и ряда внутренних и внешних органов рыб [11].

Световой режим оказывает влияние на процесс полового созревания. Под действием светового облучения в эпифизе происходит сдвиг процесса синтеза гормонов, оказывающих мощное воздействие на половую систему рыб. Установлено, что можно вызвать сдвиг полового созревания на 1,5–2 месяца [12].

### **Влияние фотопериодизма на рост рыб**

Фотопериодизм – одно из основных фотобиологических явлений, в котором свет выступает как источник информации. Он генетически обусловлен и связан с биологическими ритмами. Фотопериод чаще всего выступает как синхронизатор эндогенных ритмов роста, которые реализуются в гипофизарной активности выделения соматотропного гормона, серотонина или мелатонина. Динамика освещенности нередко является главным фактором, определяющим рост, развитие, активность питания, обмен веществ, и влияет на гормональную активность как при подращивании молоди разных видов, так и у рыб старшего возраста.

Наиболее чутко на характер фотопериода реагирует молодь планктоноядных видов рыб, что свидетельствует о значительной роли зрительного анализатора в реакции на изменение фотопериода. Зрительный анализатор является главенствующим звеном в образовании и развитии пищевого поискового рефлекса на ранних этапах постэмбриогенеза сиговых рыб. И. И. Гирса (1981) [10] установила, что характер фотореакции является следствием сигнального значения света и зависит от одного из наиболее важных факторов внешней среды (насыщенности воды кислородом, присутствия хищников, пищи, температуры). При этом продолжительный световой день вызывает у некоторых видов рыб увеличение выделения гормона роста. Увеличение светового времени суток стимулирует повышение концентрации пролактина в крови золотой рыбки, но снижает его количество в гипофизе, т. е. стимулирует выход этого гормона из мозговых структур в кровь. Минимум концентрации этого гормона в сыворотке крови приходился на ко-

нец световой фазы, а максимум – на фазу темноты. Аналогичные данные получены в экспериментах на молоди некоторых лососевых рыб. У смолтов атлантического лосося увеличение длины светового дня повышало содержание гормона роста. Переменная освещенность, близкая к естественной, положительно влияет на рост молоди и рыб других возрастных групп многих видов рыб [13].

Наибольший рост рыб наблюдается при переменной суточной освещенности. Так, наибольший прирост молоди осетра получен при перепадах суточной освещенности от 200 до 1 000 лк [14], молоди тиляпии с 8–16-часовым световым периодом при освещенности в пределах 700–2 800 лк [15], клариевого сома – с 10-часовым световым периодом [12], дальневосточных лососей – при колеблющемся суточном фотопериоде, близком к естественному.

Фотопериодизм оказывает существенное влияние на рост карпа [6]. Так, при круглосуточном освещении среды карпы наиболее интенсивно потребляют корм утром и во второй половине дня. С 4 до 7 часов и с 13 до 19 часов рыбы потребляют около 65 % суточного рациона. Минимальное количество корма при таком световом режиме потребляется в ночное время. Такой ритм питания обычно свойствен карпам, выращиваемым в естественных условиях. По-видимому, у рыб, выращиваемых в искусственных условиях, сохраняются те же биоритмы, регулируемые «биологическими часами» природы, которые сформировались в процессе эволюции данного вида.

При 2-часовом затемнении среды в дневное и ночное время карпы продолжали брать корм из автокормушки почти в таком же объеме, как и их сверстники, выращиваемые при круглосуточном освещении. Однако определенная часть выделяемого из автокормушки корма при выключенном освещении карпом не потреблялась и выпала на дно бассейна. После включения освещения этот корм частично был подобран рыбой. Суточный рацион этих рыб был на 5 % меньше по сравнению с круглосуточным режимом освещения, что отразилось на интенсивности их роста. При режиме, когда освещение выключалось с 20 до 24 часов, были получены наиболее высокие рыбопродуктивные показатели. Ритм питания карпов при таком режиме освещения значительно отличался от постоянного. Во время затемнения они очень слабо реагировали на корм. За 4-часовой период темноты рыбы потребляли всего 6,3 % корма суточного рациона. Максимальная пищевая активность отмечена с 24 до 6 часов. Количество потребленного корма в этот период составляло 43 % суточного рациона. В целом за сутки корма при таком режиме было потреблено на 3 и 8 % больше, чем соответственно при другом режиме, что обусловило лучший их рост. При однократном прерывистом световом режиме отмечалась не только большая скорость роста карпа, но и более высокая эффективность использования корма. Затраты корма при этом составляли 2,2 кг на 1 кг прироста, что на 14 % меньше по сравнению с постоянным режимом освещения. По-видимому, более низкие затраты корма в период затемнения обусловлены меньшей тратой энергии на поддержание жизненных функций. В этот период карпы были менее подвижны и, соответственно, стандартный обмен протекал на более низком уровне, а также с меньшей потерей комбикорма при его потреблении из автокормушки, поскольку рыба, особенно в первые 6 часов после затемнения, отличалась высокой пищевой активностью.

Из результатов исследований В. А. Власова (1991) [6] следует, что при выращивании карпа в бассейнах с замкнутым циклом водоснабжения оптимальным световым режимом является чередование в течение суток 20-часового периода освещения водной среды с 4-часовым периодом темноты в ночное время; 2-часовое затемнение бассейнов в дневное и ночное время вызывает нарушение биоритма рыб, что отрицательно сказывается на скорости их роста и эффективности использования корма.

Клариевый сом (*Clarias gariepinus*) при выращивании в УЗВ предпочитает условия с минимальной освещенностью [16]. Высокая освещенность является для сома стрессующим фактором, особенно при резком изменении интенсивности освещения (включении освещения). В таких ситуациях некоторые сомы погибают от сильных повреждений при ударах головой о стенки бассейна. У молоди атлантического лосося укорачивающийся световой день стимулировал амортификацию, что способствовало последующему ускорению роста этих рыб в морской воде.

Фотопериод относится к абиотическим факторам, активно влияющим на гормональный фон в организме рыб. Исследованиями Ю. Ю. Саутина (1982) [17] установлено, что в условиях естественной освещенности и относительно постоянной температуры количество соматотропина в гипофизе карпа зимой (январь) было в 4 раза меньше, чем летом (июль). Удлинение фото-

периода с 8 до 16 часов в сутки через 12 дней приводит к повышению скорости включения меченых аминокислот в соматотропин в 4 раза, при этом содержание гормона не меняется. Очевидно, длительный световой день активирует биосинтез соматотропина, усиливается его выход в кровь. Данные Ю. Ю. Саутина подтверждают гипотезу о том, что главным регулятором сезонного ритма соматотропной активности гипофиза карпа является продолжительность светового дня. Температура при этом, как утверждалось ранее, не имеет столь существенной роли.

Таким образом, ростостимулирующий эффект обусловлен именно изменчивостью светового фактора и эволюционно выработанной адаптацией рыб к этим изменениям.

### Влияние интенсивности освещения на рост рыб

По данным наших исследований и данным литературных источников, освещенность является мощным стимулятором роста многих видов (форель, белый толстолобик, карп, щука, обыкновенный и клариевый сомы, сибирский осетр) при выращивании в искусственных условиях [5, 4, 7, 16, 18, 19, 20]. Установлено, что для каждого вида рыб характерен определенный оптимальный диапазон освещенности, при котором улучшается функциональный статус организма. Зрительный анализатор является главенствующим звеном в образовании и развитии пищевого поискового рефлекса на ранних этапах постэмбриогенеза сиговых рыб.

При суточных колебаниях освещенности скорость роста рыб выше, чем при стабильных константных значениях. При периодичном изменении данного фактора снижается суточное потребление корма и улучшается на 25–30 % конвертирование потребленной пищи на рост. При круглосуточном отсутствии света планктоноядные рыбы практически перестают питаться, и, соответственно, показатели их роста снижаются. Так, скорость роста уклейки, верховки и гуппи в темноте была соответственно в 2,9; 2,4 и 1,8 раза ниже, чем у их сверстников, содержащихся при оптимальном освещении. У придонных видов рыб при отыскании пищи главную роль играет обоняние. Тем не менее в темноте скорость роста карпа, сибирского осетра, серебряного караса и ротана была соответственно в 1,7; 1,6; 2,2 и 1,4 раза ниже, чем при обычном освещении. При повышении освещенности интенсивность дыхания молодежи карпа, форели увеличивается, что свидетельствует о повышении в организме обменных процессов [4]. Суммарное потребление кислорода было ниже при красном и выше – при зеленом освещении. Расход кислорода на прирост массы тела демонстрировал обратную зависимость.

По нашим наблюдениям, у личинок карпа, с переходом на экзогенное питание, ослабевает положительный фототаксис. Однако роль зрения в поведенческих актах личинок на этом этапе достаточно велика. В частности, формирование важнейших реакций – пищевой и оборонительной – происходит в тесной связи с развитием и совершенствованием этой сенсорной системы. При переходе с этапа на этап последовательно увеличиваются (причем каждый раз почти вдвое) дистанции реагирования на пищевой стимул, а также оборонительная (на крупный движущийся предмет).

Таблица 1

Результаты подращивания личинок белого толстолобика при различных уровнях и режимах освещения [4]

Освещенность	Средняя масса, мг	Длина молоди, мм	Выживаемость, %	Биомасса молоди, г/м <sup>3</sup>	Затраты корма, кг/кг
Круглосуточно:					
100 лк	13,48 ± 1,12	11,54 ± 0,55	91,0	1226,7	1,28
300 лк	13,60 ± 0,78	11,60 ± 0,36	89,5	1217,2	1,29
600 лк	12,79 ± 0,62	11,34 ± 0,22	87,3	1115,9	1,41
1 000 лк	14,93 ± 0,94	11,59 ± 0,24	90,8	1354,9	1,26
Темнота	9,48 ± 1,31	10,69 ± 0,30	32,5	308,1	5,12
12 часов в сутки:					
100 лк	10,04 ± 1,27	10,96 ± 0,27	37,8	358,9	4,84

Условия освещенности являются одним из важных факторов, влияющих на эффективность подращивания личинок рыб. Наиболее четко это проявляется в вариантах с зеленым, синим и красным спектром освещения [5, 20, 21]. Положительный фототаксис у молодежи карпа сохраняется на всех этапах развития. При этом обнаруживается различное поведение личинок в условиях монохроматического фотоградиента в зависимости от длины волны светового пото-

ка. Наиболее активное движение наблюдается к источнику света с красным спектром при всех испытанных значениях яркости, кроме низких – 1 и 5 лк. Наибольшая концентрация личинок под лампой в этом случае составляет 80 % при освещенности 10–20 лк. Число особей, привлеченных светом лампы с синим спектром, максимальное при низкой освещенности (90 %), уменьшалось с увеличением яркости источника света, а начиная с 50 лк личинки распределяются в емкости практически равномерно.

Личинки белого толстолобика, помещенные в фотоградиент по интенсивности освещения, проявляют ярко выраженный положительный фототаксис. В фотоградиенте по спектральному составу при одинаковой интенсивности освещения 100 лк молодь относительно равномерно распределялась в зонах с желтым, зеленым и сине-голубым светом.

В термоградиенте личинки толстолобика на первом этапе развития предпочитают зону с температурой воды 31 °С. При наложении на термоградиент фотоградиента таким образом, что на зону с температурой 31 °С приходилось фиолетовое освещение, личинки переходили в синюю, зеленую и желтую зону, где температура была 28–30 °С. Аналогичные результаты были получены при исследованиях с красным спектром. Следовательно, личинки на первом этапе развития избегают нахождения в красном и фиолетовом спектре, переходя при этом в область более низких температур. С возрастом личинки предпочитают зону с зеленым спектром освещения и в меньшей степени – с красным. При сопоставлении различного по спектральному составу освещения установлено отрицательное воздействие красного и желтого света на показатели роста и выживаемости личинок (табл. 2). Отметим, что влияние температуры на избирательность молоди белого толстолобика к цветовой гамме не выявлялось.

Таблица 2

**Влияние спектрального состава освещения  
на результаты подраживания личинок белого толстолобика [5]**

Спектральный состав света	Средняя масса молоди, мг	Длина личинок, мм	Выживаемость молоди, %	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Затраты корма, кг/кг
Белый	13,48 ± 1,12	11,54 ± 0,55	91,0	1226,7	1,28
Красный	12,24 ± 2,34	11,18 ± 0,45	56,5	681,6	2,27
Желтый	12,28 ± 1,72	11,23 ± 0,34	60,8	746,0	2,11
Зеленый	14,60 ± 1,78	11,75 ± 0,33	86,5	1262,9	1,25
Синий	13,80 ± 1,62	11,80 ± 0,35	85,4	1178,1	1,34

Способность к цветоразличению у рыб обусловлена наличием в сетчатке трех видов колбочек, пигменты которых имеют различные спектральные характеристики:  $\lambda_{\max} = 455, 530$  и  $625$  нм. Шкала воспринимаемого спектра подразделяется на три участка – участок цветного зрения и два периферических – в коротковолновой и длинноволновой частях спектра, внутри которых рыбы не способны различать длину волн. Кроме колбочек, функционирующих при фотопическом уровне освещенности, в сетчатке глаз большинства костистых рыб имеются палочки, обеспечивающие зрение при низкой освещенности, на скотопическом уровне. Освещенность, при которой происходит переход от дневного к сумеречному зрению (ретиномоторная реакция), различна для разных видов; в частности для взрослого карпа она равна 0,0001 лк [22].

Сложное пищевое поведение личинок рыб объясняется взаимодействием нескольких рецепторных систем: зрительной, хемосенсорной, сейсмосенсорной и тактильной. Н. Н. Дислер (1960) [8] отмечал, что тактильные и хемосенсорные органы в поведении личинок карповых не имеют того исключительного значения, какое они имеют у осетровых и лососевых рыб. Значение этих органов становится ведущим только в темноте или в условиях мутной воды. Личинки карпа, развивающиеся при различных значениях температуры как на свету, так и при его отсутствии потребляют корм и растут примерно одинаково.

У рыб с преимущественно дневной активностью, таких как нерка, чавыча, солнечные рыбы [23], лаврак, проточный сом [13] скорость роста при свете и постоянной освещенности положительно коррелирует с продолжительностью светового дня, а у кумжи отмечена обратная зависимость.

Увеличение светового дня с 8 до 16 часов стимулировало рост и развитие молоди лососевых рыб, особенно при сравнительно низкой температуре воды [13]. Увеличивающийся фотопериод влияет на уровень эффективности использования рыбой пищи. Достоверное влияние на рост анадромных рыб в пресноводный период жизни оказывает увеличивающийся световой период суток, тогда как морские рыбы лучше растут при уменьшающемся фотопериоде.

В некоторых случаях при постоянной освещенности рыбы растут лучше, чем при меняющемся фотопериоде. Так, мальки нерки массой 0,3–0,5 г лучше росли при постоянном 20-часовом суточном освещении [23]. Как правило, продолжительная постоянная освещенность обеспечивает повышенное потребление пищи и за счет этого поддерживается интенсивный рост рыб. Молодь большинства видов рыб мгновенно реагирует на любое изменение освещенности. Особенно резко эта реакция проявляется при включении освещенности, в меньшей степени – при отключении. В последующие 3–5 часов интенсивность дыхания молоди возрастает, а затем стабилизируется на другом уровне. У ряда рыб при постоянной освещенности, при увеличении значения фактора, интенсивность дыхания возрастает [4, 19]. Применение дополнительного освещения в дневное время вызывает увеличение коэффициента использования потребленной пищи на рост форели, что обусловлено более высокой скоростью роста рыбы при лучшем освещении в дневное время суток [1].

Следует отметить, что при естественном освещении активность личинок карпа была не ниже, чем в аппаратах с более интенсивным искусственным освещением. По-видимому, искусственное освещение с использованием ламп накаливания не может заменить естественного, в спектре которого имеется ультрафиолетовое излучение. Молодь, подращиваемая при интенсивном искусственном и естественном освещении, отличалась более высокой жизнеспособностью и скоростью роста. При этом выживаемость личинок была также максимальной [19].

Повышение эффективности использования корма при увеличении освещенности обусловлено более полным его потреблением личинками, т. к. доза внесения корма во всех вариантах была одинаковой. Безусловно, роль света в жизни рыб не ограничивается его влиянием на функции организма, связанные со зрением. Освещенность оказывает значительное влияние на усвоение корма, рост и развитие молоди, что тесно связано с состоянием нервной и эндокринной систем.

#### **Влияние света на уровень потребления и усвоения рыбой корма**

Световой фактор оказывает существенное влияние на двигательную активность и способность личинок карпа, подращиваемых как в 200-литровых аппаратах, так и в 500-литровых бассейнах, находить пищу. Это в конечном итоге отражается на показателях роста и выживаемости молоди и эффективности использования ими корма [19]. Отмечено, что в первые дни большинство личинок, подращиваемых при меньшей освещенности, находилось в верхних слоях воды, тогда как при большей освещенности молодь распределялась равномерно по всей глубине. В начале постэмбрионального периода они потребляли корм в верхних слоях воды. При достижении массы 5–6 мг они стали брать корм и со дна аппаратов, особенно при длительном перерыве кормления, т. е. ночью. В аппаратах, где отсутствовало освещение ночью, эффективность использования корма личинками была значительно ниже по сравнению с круглосуточным освещением, т. к. молодь не потребляла корм в темноте. Следует отметить, что при естественном освещении активность молоди была не ниже, чем в аппаратах с более интенсивным искусственным освещением. По-видимому, искусственное освещение при использовании как ламп накаливания, так и люминесцентных не может заменить естественного, в спектре которого имеется ультрафиолетовое излучение. При сочетании естественного и интенсивного искусственного освещения создавались благоприятные условия для развития водорослей, особенно нитчатых, которые на 6-й день опыта покрывали почти всю внутреннюю поверхность аппаратов. Молодь, подращиваемая при интенсивном освещении, отличалась более высокой жизнеспособностью и скоростью роста.

Неодинаковая способность молоди к поиску пищи в аппаратах с разной освещенностью среды обусловила существенные различия в эффективности использования личинками корма. Наиболее эффективно усваивала корм молодь при высокой освещенности. Затраты корма на прирост килограмма массы личинок при этом режиме составила 0,9 кг, тогда как при более низких уровнях освещенности они были в 1,5–2,5 раза выше. Повышение эффективности использования корма личинками карпа при увеличении освещенности обусловлено более полным его потреблением и усвоением, что тесно связано с состоянием эндокринной и пищеварительной систем.

В опытах А. Б. Ручина (2008) [4] суточные рационы молоди карпа, карася и ротана во всех световых режимах различались несущественно, что свидетельствует о потреблении одинакового количества пищи. Однако значения прироста массы по различным вариантам различались,

и, следовательно, эффективность конвертирования пищи была разной. Наименьшие значения затрат корма отмечены при круглосуточном освещении, при периодическом фотопериоде (12 часов свет, 12 часов темнота) показатель увеличивался на 2–3 %. Наибольшие значения затрат корма установлены при постоянной низкой освещенности. Они были в 1,6–2,0 раза выше, чем при режиме с круглосуточным освещением.

А. Б. Ручиным в исследованиях молоди сибирского осетра выявлено, что она потребляла корма при чередовании света и темноты больше, чем при круглосуточном освещении. В то же время отсутствие света снижало суммарное потребление корма на 10–12 % относительно других режимов фотопериода. Расчет расхода кислорода на единицу прироста молоди выявил его увеличение с 0,152 до 0,165 г/кг при повышении длительности освещения до 12 часов, а с дальнейшим повышением освещенности происходит снижение этого показателя.

Суточное же потребление корма молодью сибирского осетра существенно не различалось при разной освещенности. Лишь при полном отсутствии света наблюдалось некоторое его снижение. Суммарное потребление корма и кислорода всегда было выше при оптимальных для роста рыб значениях освещенности.

Таким образом, те режимы освещения, при которых рост молоди рыб увеличивается, также являются наиболее выгодными с точки зрения энергобаланса. В этих условиях повышается суммарное потребление рыбой пищи. Однако на этом фоне снижается расход кислорода на прирост массы тела и повышается эффективность использования пищи.

Наряду с увеличением скорости роста карпа, карася и ротана колебания освещенности в благоприятных интервалах оптимизировали энергетику. Суммарное потребление корма и кислорода за период выращивания в переменных режимах незначительно увеличивалось по сравнению с постоянным режимом. В этих условиях, т. е. при переменном режиме, рыбы росли интенсивнее, а потребление кислорода снижалось, что свидетельствует об уменьшении относительных энерготрат под влиянием колебаний освещенности. И только при высокой интенсивности освещения (8 400 лк) показатель расхода кислорода на прирост увеличивается на 13,7 %, а показатель эффективности использования пищи снижается на 8,9 % по сравнению с показателями при постоянном световом режиме.

А. Б. Ручиным установлено, что не только интенсивность, но и различный спектр освещения оказывают влияние на величину рациона и эффективность его использования. Так, молодь карпа потребляла наибольшее количество корма при зеленом и голубом освещении. При увеличении количества потребляемой пищи эффективность ее усвоения также возрастала. Молодь сибирского осетра при различных суточных рационах (16,0–19,1 %) потребляла примерно одинаковое количество корма в пересчете на единицу массы при одинаковом спектре освещения. Однако при различных спектрах освещения осетровая молодь несколько больше корма потребляла при освещении зелеными и голубыми лучами спектра. При зеленом и голубом спектре освещения происходит уменьшение расхода кислорода на единицу прироста массы, что свидетельствует об улучшении конвертирования пищи на рост. На это же указывает снижение показателя затрат корма при выращивании молоди в зеленом и голубом спектре освещения. При этом спектре освещения затраты корма у рыб составили 2,98 и 3,09 кг/кг прироста, тогда как при желтом и красном – соответственно 3,46 и 3,65 кг/кг.

При выращивании товарного карпа выявлено следующее: изменяя режим освещения рыбободных бассейнов, можно оказывать воздействие на его биологические циркадные ритмы выделения аммонийного азота и потребление кислорода, которые тесно с ним связаны, что особенно важно при содержании рыбы в УЗВ [24].

Особый интерес представляют данные по изучению влияния двух факторов среды – температуры и фотопериода – на рост и развитие сома обыкновенного, выращиваемого в прудовых условиях Волгоградской области и Чувашской Республики [7]. Сумма эффективных значений температуры в прудах Волгоградской области составляла около 2 500 градусо-дней и световой период – 120 дней, в прудах Республики Мордовия – соответственно около 1 600 градусо-дней и 80 световых дней.

Сравнительная оценка роста и развития сомов в разных зонах регионов выявила общую закономерность – при более длительной освещенности и высоких значениях температуры наблюдается торможение соматического роста и активизируются процессы гаметогенеза и сперматогене-

за. В пятилетнем возрасте сомы при более низких показателях температуры и освещенности выросли до 4,4 кг, тогда как при более высоких значениях их масса достигла всего 2,8 кг. Это обусловлено прежде всего тем, что сомы активно питаются при низкой освещенности, т. е. в сумерки и ночное время. Прудовые условия с более высокими показателями температуры воды и освещенности приводят к более раннему созреванию производителей. Вследствие этого при воспроизводстве обыкновенного сома, в целях дозревания половых продуктов, в преднерестовый период производителей необходимо содержать в прудах с высокой освещенностью, что обеспечит самцам и самкам полноценный нагул и положительно скажется на качестве половых продуктов нереста и инкубации икры. В прудах Республики Мордовия производители сома нерестятся в 5–6-летнем возрасте, тогда как в Волгоградской области значительно раньше – в возрасте 3–4 года.

Стимуляция процессов созревания рыб зависит от активации половых гормонов, которые, в свою очередь, стимулируются серотонином (медиатор). Гормон серотонин образуется из триптофана (незаменимая кислота, которая поступает в организм только с животной пищей) и активируется светом. Если же освещенность недостаточна, то идет выработка мелатонина (при наличии достаточного кормления), интенсифицирующего соматический рост.

### **Влияние света на гематологические показатели рыб**

Кровь, непосредственно участвующая в обменных процессах, отражает изменения, происходящие в организме рыб, в том числе и от изменений света. По данным А. Б. Ручина (2008) [4], в крови карпа определенная зависимость от фотопериода наблюдается в отношении лимфоцитов, моноцитов и базофилов. При этом количество лимфоцитов закономерно повышалось от 77,5 % в условиях непрерывной темноты до 89,0 % при периодическом чередовании, а затем уменьшалось до 82,3 % при 24-часовом освещении. У молоди сибирского осетра также выявлены определенные зависимости изменения лейкоцитарной формулы. Наибольшее число нейтрофилов (7,3 %) зафиксировано в режиме с полным отсутствием света, тогда как наименьшее – при 6-часовом освещении (3,4 %). Количество эозинофилов во всех вариантах освещенности не превышало 0,5–1,0 %. Число моноцитов варьировало в широких пределах, но четкой зависимости не выявлено.

При изучении концентрации гемоглобина и количества эритроцитов в крови карпа и серебряного карася при длительном выращивании в условиях светового градиентного поля и при равномерном освещении было установлено, что в условиях переменного освещения концентрация гемоглобина и число эритроцитов были выше, чем при равномерном освещении. Достоверное увеличение содержания гемоглобина в крови молоди сибирского осетра проявляется только при 12-часовой смене светового режима.

Гематологические изменения происходят также и под действием определенного цвета освещения водной среды. У осетров, содержащихся при зеленом и голубом освещении, повышается число лимфоцитов. Число эритроцитов при любой цветовой гамме освещения изменяется недостоверно, и в то же время при синем свете концентрация гемоглобина в одном эритроците увеличивается.

У молоди форели, выращиваемой при различных световых режимах, количество эритроцитов и гемоглобина находилось на одинаковом уровне [2]. Однако по мере роста рыб количество эритроцитов в крови возрастало. Концентрация гемоглобина увеличивается до периода достижения ихтиомассы в бассейне 60–65 кг/м<sup>3</sup>, затем, под воздействием увеличения в воде метаболитов, она снижается. Повышение обмена веществ у молоди форели при дополнительном освещении обуславливает увеличение количества в крови незрелых эритроцитов. При выращивании молоди тилапии при высокой освещенности (5 600 лк) потребление рыбой кислорода составляло 0,36 мг/(г · ч), тогда как при минимальном – 0,12 мг/(г · ч), при этом происходит повышение скорости оседания эритроцитов [15].

Таким образом, при благоприятных световых условиях все гематологические показатели у рыб имеют оптимальные параметры, т. е. их общее состояние можно оценить как вполне удовлетворительное. В случае ухудшения роста рыб при тех или иных условиях фотопериода, интенсивности и монохроматического освещения эти показатели изменяются. При этом наблюдается лимфопения, моноцитопения, нейтрофилия и базофилия, снижение концентрации гемоглобина, количества эритроцитов и лейкоцитов.

### Заключение

Для каждого вида рыб характерен определенный оптимальный диапазон освещенности, при котором улучшается функционирование организма. В этих режимах энергобюджет молоди смещается в сторону массонакопления, а общее физиологическое состояние улучшается. Увеличение суточного периода освещения повышает скорость роста большинства видов рыб. Низкая освещенность негативно сказывается на развитии личинок и их дальнейшем росте.

При переменном световом режиме скорость роста личинок рыб неизменно выше, чем при стабильных константных значениях. В цветовых градиентных полях рост молоди рыб существенно ускоряется по сравнению с равномерно освещенной средой, при этом возрастает их плавательная активность, увеличивается число векторных перемещений и длительность пути, проплавываемого рыбой.

При зелено-синем и зелено-голубом спектрах освещения все виды рыб растут интенсивнее и демонстрируют высокий уровень выживаемости. Красная часть спектра действует негативно на физиологический статус большинства видов.

На обменные процессы у рыб, особенно у взрослых и половозрелых особей, оказывают влияние не только интенсивность освещения среды, но и чередование темного и светлого периодов (фотопериодизм). У рыб существуют внутренние механизмы, обуславливающие характер суточной двигательной активности, большой мобильности этого ритма и способности рыб реагировать на различные изменения освещенности.

Большинство рыб (каarp, толстолобик, пелядь, щука, сом обыкновенный, осетр сибирский и др.), как молодь, так и старшие возрастные группы, выращиваемые при оптимальных колебаниях освещенности, обладают большей устойчивостью к условиям среды, и прежде всего к недостатку кислорода. Для них характерны также более оптимальные гематологические показатели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабурина Е. А. Развитие глаз у круглоротых и рыб в связи с экологией / Е. А. Бабурина. М.: Наука, 1972. 145 с.
2. Есавкин Ю. И. Рост и морфофизиологические показатели молоди радужной форели при различном световом режиме / Ю. И. Есавкин: автореф. дис. ... канд. наук. М., 1980. 14 с.
3. Терентьев В. П. Влияние различных световых режимов и светоисточников на рост личинок пеляди / В. П. Терентьев // Тез. Всесоюз. конф. молодых ученых ВНИИПРХ. М., 1984. С. 22–24.
4. Ручин А. Б. Влияние характеристик света на развитие, рост и физиолого-биохимические показатели рыб и амфибии / А. Б. Ручин: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Саранск, 2008. 52 с.
5. Алимов И. А. Повышение эффективности заводского подращивания личинок карповых рыб / И. А. Алимов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ТСХА, 1994. 25 с.
6. Власов В. А. Оптимальные световые режимы при выращивании карпа в искусственных условиях / В. А. Власов // Изв. ТСХА. 1991. Вып. 4. С. 139–147.
7. Петрушин А. Б. Роль света в жизни сома обыкновенного / А. Б. Петрушин, Н. И. Маслова // Развитие аквакультуры в регионах. Проблемы и возможности. М.: МСХ РАСН ВНИИР, 2011. С. 147–152.
8. Дислер Н. Н. Органы чувств системы боковой линии и их значение в поведении рыб / Н. Н. Дислер. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 310 с.
9. Любичкая А. И. Влияние видимого спектра ультрафиолетового излучения и температуры на метаболиты тела рыб / А. И. Любичкая, Е. А. Дорофеева // Зоологический журнал. 1961. Т. 40, вып. 3. С. 397–407.
10. Гирса И. И. Освещенность и поведение рыб / И. И. Гирса. М.: Наука, 1981. 167 с.
11. Крючков В. И. Влияние освещенности на морфофункциональное развитие молоди стерляди / В. И. Крючков, Д. К. Обухов, И. А. Новикова // Вопросы рыболовства. 2006. № 2. С. 277–288.
12. Kilambe R. V. Influence of temperature and photoperiod on growth, food consumption and food conversion efficiency of connel catfish / R. V. Kilambe, J. Nobe, C. E. Hoffman // Proc. 24 th Annu cons. Southeast Assoc. Game and Fish Commis., Atlanta ga 1970. S. J. 971. P. 519–531.
13. Бретт Д. Факторы среды и рост рыб / Д. Бретт // Биоэнергетика и рост рыб. М.: Легкая пром-сть, 1983. С. 275–345.
14. Ручин А. Б. Особенности роста и энергетика карпа (*Cyprinus carpio*) при различной освещенности / А. Б. Ручин // Зоологический журнал. 2001. Т. 80, № 4. С. 433–437.
15. Власов В. А. Влияние освещенности на рост молоди тилапии, выращиваемой в искусственных условиях / В. А., Власов, О. Н. Зобова, А. А. Иванов // Современные проблемы в зоотехнии: сб. науч. тр. М.: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина. Ч. 2. С. 87–89.
16. Власов В. А. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) / В. А. Власов // Развитие аквакультуры в регионах: проблемы и возможности: докл. Междунар. науч.-практ. конф. ВНИИР, РАСХН. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. С. 67–72.

17. Саутин Ю. Ю. Влияние сезона фотопериода и температуры на соматотропную функцию гипофиза карпа / Ю. Ю. Саутин // Тез. докл. V Всесоюз. конф. по эколог. физиологии и биохимии рыб. Ч. 2. Киев: Наук. думка, 1982. С. 69–70.
18. Лавровский В. В. Энергетический баланс у молоди радужной форели при различных условиях освещения / В. В. Лавровский, Ю. И. Есавкин // Тез. докл. V Всесоюз. конф. по эколог. физиологии и биохимии рыб. Киев: Наук. думка, 1982. Ч. 1. С. 90–91.
19. Власов В. А. Влияние различной освещенности на подращивание молоди карпа в условиях инкубационно-малькового цеха / В. А. Власов // Совершенствование биотехники в рыбоводстве. М.: ТСХА, 1985. С. 53–59.
20. Раденко В. Н. Значение температуры и света для роста и выживаемости личинок белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* / В. Н. Раденко, И. А. Алимов // Вопросы ихтиологии. М., 1991. Т. 34, вып. 4. С. 655–663.
21. Радищева О. Л. Значение зрения в обеспечении пищевого поведения личинок карпа / О. Л. Радищева // Рыбохозяйственное освоение водоемов комплексного назначения. М.: ВНИИР, ВНИРО, 1990. С. 102–113.
22. Максимов В. В. Трансформация цвета при изменении освещения / В. В. Максимов. М.: Наука, 1984. 161 с.
23. Clarke W. C. Effect of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho. Chinook / W. C. Clarke, J. E. Sheibourn, J. R. Brett // Aquaculture. 1981. P. 105–116.
24. Жигин А. В. Замкнутые системы в аквакультуре: моногр. / А. В. Жигин. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. 665 с.

#### REFERENCES

1. Baburina E. A. *Razvitie glaz u kruglorotykh i ryb v sviazi s ekologiei* [Development of fish eyes in relation to ecology]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 145 p.
2. Esavkin Iu. I. *Rost i morfofiziologicheskie pokazateli molodi raduzhnoi foreli pri razlichnom svetovom rezhime*. Avtoreferat diss. kand. nauk [Growth and morpho-physiological parameters of rainbow salmon juveniles at various lightning modes. Abstract of diss. cand. biol. sci.]. Moscow, 1980. 14 p.
3. Terent'ev V. P. *Vliianie razlichnykh svetovykh rezhimov i svetoistochnikov na rost lichinok peliadi* [Influence of various light modes and light sources on the growth of pelade larvae]. *Tezisy Vsesoiuznoi konferentsii molodykh uchennykh VNIIPRKh*. Moscow, 1984, pp. 22–24.
4. Ruchin A. B. *Vliianie kharakteristik sveta na razvitie, rost i fiziologo-biokhimicheskie pokazateli ryb i amfibii*. Avtoreferat dokt. biol. nauk [Influence of light parameters on the growth and physio-biochemical parameters of fish and amphibian. Abstract of diss. dr. boil. sci.]. Saransk, 2008. 52 p.
5. Alimov I. A. *Povyshenie effektivnosti zavodskogo podrashchivaniia lichinok karpovykh ryb*. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk [Increase in efficiency of hatchery growing of carp larvae. Abstract of diss. cand. agr. sci.]. Moscow, TSKhA, 1994. 25 p.
6. Vlasov V. A. *Optimal'nye svetovye rezhimy pri vyrashchivanii karpa v iskusstvennykh usloviiakh* [Optimal light modes of growing carp in artificial conditions]. *Izvestiia TSKhA*, 1991, iss. 4, pp. 139–147.
7. Petrushin A. B., Maslova N. I. *Rol' sveta v zhizni soma obyknovennogo* [Role of light in the common catfish life]. *Razvitie akvakul'tury v regionakh. Problemy i vozmozhnosti*. Moscow, MSKh RASN VNIIR, 2011, pp. 147–152.
8. Disler N. N. *Organy chuvstv sistemy bokovoi linii i ikh znachenie v povedenii ryb* [Organs of senses of the system of side line and their role in fish behavior]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1960. 310 p.
9. Liubitskaia A. I., Dorofeeva E. A. *Vliianie vidimogo spektra ul'trafiolietovogo izlucheniia i temperatury na metametriu tela ryb* [Influence of visible spectrum of ultraviolet radiation and temperature on methametry of fish body]. *Zoologicheskii zhurnal*, 1961, vol. 40, iss. 3, pp. 397–407.
10. Girska I. I. *Osveshchennost' i povedenie ryb* [Illumination and fish behavior]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 167 p.
11. Kriuchkov V. I., Obukhov D. K., Novikova I. A. *Vliianie osveshchennosti na morfofunktional'noe razvitie molodi sterliadi* [Influence of illumination on morpho-functional development sterlet fry]. *Voprosy rybolovstva*, 2006, no. 2, pp. 277–288.
12. Kilambe R. V., Nobe J., Hoffman C. E. Influence of temperature and photoperiod on growth, food consumption and food conversion efficiency of connel catfish. *Proc. 24 the Annu cons. Southeast Assoc. Game and Fish Commis.*, Atlanta ga 1970. S. J., 1971, pp. 519–531.
13. Brett D. *Faktory sredy i rost ryb* [Factors of the media and fish growth]. *Bioenergetika i rost ryb*. Moscow, Legkaia promyshlennost' Publ., 1983, pp. 275–345.
14. Ruchin A. B. *Osobennosti rosta i energetiki karpa (Cyprinus carpio) pri razlichnoi osveshchennosti* [The peculiarities of growth and energetics of carp]. *Zoologicheskii zhurnal*, 2001, vol. 80, no. 4, pp. 433–437.
15. Vlasov V. A., Zobova O. N., Ivanov A. A. *Vliianie osveshchennosti na rost molodi tilapii, vyrashchivaemoi v iskusstvennykh usloviiakh* [Influence of illumination on the growth of tilapia juveniles grown in artificial conditions]. *Sovremennye problemy v zootekhnii: sbornik nauchnykh trudov*. Moscow, MGAVMiB im. K. I. Skriabina, part 2, pp. 87–89.
16. Vlasov V. A. *Vosproizvodstvo i vyrashchivanie klarievogo soma (Clarias gariepinus) v ustanovkakh s zamknutym vodoobespecheniem (UZV)* [Reproduction and growing of catfish in reservoirs with the closed wa-

ter supply]. *Razvitie akvakul'tury v regionakh: problemy i vozmozhnosti. Doklady Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii VNIIR, RASKhN*. Moscow, Izd-vo RGAU-MSKhA, 2011, pp. 67–72.

17. Sautin Iu. Iu. Vliianie sezona fotoperioda i temperatury na somatotropnuiu funktsiiu gipofiza karpa [Influence of the season of photoperiod and temperature on the somatotropic function of carp hypophysis]. *Tezisy dokladov V Vsesoiuznoi konferentsii po ekologicheskoi fiziologii i biokhimmii ryb*. Part 2. Kiev, Naukova dumka Publ., 1982, pp. 69–70.

18. Lavrovskii V. V., Esavkin Iu. I. Energeticheskii balans u molodi raduzhnoi foreli pri razlichnykh usloviakh osveshcheniia [Energetic balance of rainbow salmon juvenile in different light conditions]. *Tezisy dokladov V Vsesoiuznoi konferentsii po ekologicheskoi fiziologii i biokhimmii ryb*. Kiev, Naukova dumka, Publ., 1982, part 1, pp. 90–91.

19. Vlasov V. A. Vliianie razlichnoi osveshchennosti na podrashchivanie molodi karpa v usloviakh inkubatsionno-mal'kovogo tsekha [Influence of various illumination on the growing-up of carp juvenile in conditions of fry incubation sector]. *Sovershenstvovanie biotekhniki v rybovodstve*. Moscow, TSKhA, 1985, pp. 53–59.

20. Radenko V. N., Alimov I. A. Znachenie temperatury i sveta dlia rosta i vyzhivaemosti lichinok belogo tolstolobika *Hypophthalmichthys molitrix* [Significance of temperature and light for growth and survival of larvae of white silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*]. *Voprosy ikhtiologii*, 1991, vol. 34, iss. 4, pp. 655–663.

21. Radishcheva O. L. Znachenie zreniia v obespechenii pishchevogo povedeniia lichinok karpa [Significance of eyesight in maintenance of feeding behavior of carp larvae]. *Rybokhoziaistvennoe osvoenie vodoemov kompleksnogo naznacheniiia*. Moscow, VNIIR, VNIRO, 1990, pp. 102–113.

22. Maksimov V. V. *Transformatsiia tsveta pri izmenenii osveshcheniia* [Transformation of colour at light changes]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 161 p.

23. Slarke W. C., Sheibourn J. E., Brett J. R. Effect of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho. Chinook. *Aquaculture*, 1981, pp. 105–116.

24. Zhigin A. V. *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* [Closed systems in aquaculture]. Moscow, Izd-vo RGAU-MSKhA im. K. A. Timiriazeva, 2011. 665 p.

Статья поступила в редакцию 29.04.2013

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Власов Валентин Алексеевич** – Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева; г-р с.-х. наук, профессор; профессор кафедры «Пчеловодство и рыбоводство»; [vvlasov@timacad.ru](mailto:vvlasov@timacad.ru).

**Vlasov Valentin Alekseevich** – Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Professor of the Department "Beekeeping and Fish Farming"; [vvlasov@timacad.ru](mailto:vvlasov@timacad.ru).

**Маслова Неонила Ивановна** – Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбоводства Россельхозакадемии, Московская обл., Ногинский р-н, пос. им. Воровского; г-р биол. наук, старший научный сотрудник; зав. лабораторией отдела селекции и воспроизводства рыб; [LJB@flexuser.ru](mailto:LJB@flexuser.ru).

**Maslova Neonila Ivanovna** – All-Russian Research Institute of Irrigative Fish Farming of Russian Agricultural Academy, Moscow region, Noginsk district, Vorovskoy town; Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher; Head of the Laboratory of the Department of Selection and Fish Reproduction; [LJB@flexuser.ru](mailto:LJB@flexuser.ru).

**Пономарёв Сергей Владимирович** – Астраханский государственный технический университет; г-р биол. наук, профессор; зав. кафедрой «Аквакультура и водные биоресурсы»; [kafavb@yandex.ru](mailto:kafavb@yandex.ru).

**Ponomarev Sergey Vladimirovich** – Astrakhan State Technical University; Doctor of Biological Sciences, Professor; Head of the Department "Aquaculture and Aquatic Bioresources"; [kafavb@yandex.ru](mailto:kafavb@yandex.ru).

**Баканёва Юлия Михайловна** – Астраханский государственный технический университет; канд с.-х. наук; доцент кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы»; [uljabakaneva@yandex.ru](mailto:uljabakaneva@yandex.ru).

**Bakaneva Yulia Mikhailovna** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Agricultural Sciences; Assistant Professor of the Department "Aquaculture and Aquatic Bioresources"; [uljabakaneva@yandex.ru](mailto:uljabakaneva@yandex.ru).