

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию
Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ
Вячеслав Александрович

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ pH НА РОСТ, ЭНЕРГЕТИКУ И РЫБОВОДНЫЕ
КАЧЕСТВА МОЛОДИ РЫБ

Специальность: 03.00.10. – икhtiология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Саранск, 1994

Работа выполнена на кафедре зоологии Мордовского ордена
Дружбы народов государственного университета им.
Н.П. Огарева

Научный руководитель: кандидат биологических наук
В.С. Вечканов

Научный консультант: доктор биологических наук,
профессор А.С. Константинов

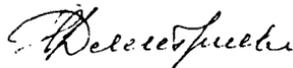
Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор
А.Н. Канидъев
кандидат биологических наук
И.С. Шестерин

Ведущая организация - кафедра рыбоводства
Тимирязевской сельскохозяйственной академии

Защита состоится "___" _____ 1994 г.
в ___ часов на заседании специализированного совета
Д 053.05.71 при Московском государственном университете
им. М.В. Ломоносова (119899 Москва, Воробьевы горы, МГУ,
Биологический факультет).

Автореферат разослан "___" _____ 199 г.

Ученый секретарь
специализированного совета



А.Г. Дмитриева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Современное расширение и углубление ихтиологических исследований стимулируется необходимостью увеличения ихтовых и, в частности, рыбных ресурсов. При этом очевидно, что главная перспектива наращивания рыбного сырья заключена в интенсификации его искусственного производства.

Проблемы совершенствования биотехнологий рыбоводства легче и спешнее решаются при возможности направленного создания и регулирования параметров среды существования рыб с целью ускорения и повышения эффективности их роста. Практическое решение многих вопросов, связанных с этими проблемами, тесно переплетается с исто научными, теоретическими изысканиями.

Особую проблему представляет возможность регулировать отдельные параметры факторов среды. При разработке и реализации той или иной технологии промышленного выращивания рыб, как правило, ориентируются на определенные стационарные значения требуемых параметров, выбранных в качестве оптимальных. Однако известно, что естественная среда динамична и живые организмы эволюционно должны быть адаптированы к этой динамичности.

В последние годы появился ряд работ, в которых говорится о том, что рост, физиологическое состояние и энергетика рыб заметно улучшаются в условиях периодических колебаний температуры, солености и содержания кислорода в воде. Ни при каких оптимальных стационарных режимах не наблюдаются те высокие скорости роста, которые получены в переменных режимах (Константинов, Зданович, 1985, 1986; Константинов, 1988; Константинов, Волохов, 1988, 1989; Константинов, Мартинова, 1992; Константинов, 1993). На основании этих работ выдвигается новая концепция экологического оптимума. В лучае ее достоверности создается нетрадиционная основа для биотехнологии выращивания рыб, прогноза состояния и функционирования экосистем.

С целью проверки приложимости данной концепции к рН и учитывая, что концентрация ионов водорода в воде является важнейшим фактором для гидробионтов, провели исследования по влиянию колебаний названного фактора на рост, энергетiku и физиологическое состояние молоди рыб.

Цель и задачи исследования. Основной целью настоящего исследования явилось изучение влияния переменного гидрион-режима на зодье рыб. Данная работа выполнялась в соответствии с научной

темой кафедры зоологии Мордовского госуниверситета " Изучение структуры и продукционных процессов в природных экосистемах в связи с их оптимизацией в условиях Печерноземья" (И 47 ГП 22192). Тема диссертации утверждена на заседании Ученого Совета Мордовского университета от 27 декабря 1994 г.

Исходя из поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать влияние константных и переменных значений рН на рост молоди рыб.

2. Изучить воздействие колебаний рН на энергетику рыб.

3. Определить рыбоводные характеристики (вариабельность размеров, уштанность, устойчивость к экстремальным воздействиям) молоди рыб, выращенных в переменных гидрион-режимах.

4. Исследовать поведение молоди рыб в градиентном поле рН. Научная новизна работы. Впервые показано, что колебания рН воды в пределах экологической валентности вида существенно ускоряют рост рыб, причем это ускорение сопровождается снижением интенсивности дыхания и величины суточного рациона, увеличением эффективности конвертирования пищи на рост и доли аккумулируемой энергии. Выявлены закономерности ускорения роста в зависимости от режимов колебаний рН. Отмечено, что наиболее благоприятна для роста та динамика гидрионных воздействий, которая реализуется в результате самопроизвольного перемещения рыб в градиентном поле рН. Прослежена динамика эффекта ускорения роста при длительных воздействиях колебаний изучаемого фактора. Установлено, что в условиях переменного гидрион-режима улучшаются рыбоводные характеристики молоди рыб: снижается вариабельность линейно-весовых размеров, повышается уштанность и возрастает устойчивость к экстремальным воздействиям.

Практическая ценность. Полученные данные могут быть использованы для ускорения роста, улучшения физиологического состояния и качества посадочного материала в условиях индустриального выращивания рыб. По результатам исследований подана заявка на изобретение способа подрачивания молоди рыб в условиях переженного гидрион-режима.

Апробация работы. Материалы, представленные в диссертации докладывались и обсуждались на ежегодных Огаревских чтениях Мордовского государственного университета (1991 - 1994 гг.).

Реализация результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ, 4 работы находятся в печати,

ом числе подана заявка на изобретение. Полученные данные используются в учебном процессе на биологическом факультете Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследований, результатов собственных исследований и их обсуждения (4 главы), выводов и библиографического указателя. Работа изложена на 167 страницах машинописного текста, иллюстрирована 25 таблицами и 9 рисунками. Библиографический указатель содержит 221 источника (в том числе 132 иностранных).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования проведены на молодежи эвригидионных видов рыб: карпа - *Cyprinus carpio* L. (объект прудового выращивания); караса золотого - *Carassius auratus* L.; уклейки - *Alburnus alburnus* L.; плотвы - *Rutilus rutilus* L. (наиболее обычные виды в естественных водоемах с различными экологическими типами) и гуппи - *Poecilia reticulata* Peters. (модельный объект лабораторных исследований).

В общей сложности в опытах использовано особей: карпа - 971; караса золотого - 1082; уклейки - 1590; плотвы - 120 и гуппи - 931. Общее число опытов 107 (40 серий). Эксперименты проведены не менее трехкратной повторяемости. Во всех случаях использовались рыбы, предварительно акклиматизированные к лабораторным условиям. Ростковые эксперименты проводили в 20 - литровых аквариумах при стационарных значениях, принудительных колебаниях pH и в градиентных установках (Билько, 1977) при произвольном выборе рыбами pH в градиентном поле. В каждый сосуд сажали от 5 до 30 особей в зависимости от их размеров. Требуемое pH воды создавали регулируемым добавлением растворов H_2SO_4 и $NaOH$. Условия по всем факторам среды, кроме исследуемого, были идентичны. Температура воды поддерживалась на уровне $25,0 \pm 0,1^\circ C$. Насыщение кислородом близко к 100 %. Рыб кормили одинаковым в каждой серии опытом кормом до насыщения. Исследования ростовых показателей проводили в диапазоне pH 6,0 - 9,0 с различными режимами колебаний фактора, путем изучения интенсивности дыхания и потребления пищи осуществляли при pH 7,5 - 8,5 (оптимальный для роста всех исследованных видов рыб переменный гидрион - режим). Концентрация ионов одорота в воде определяли pH метром "pH - 340" с точностью 0,05

ед. Смена pH в переменных режимах осуществлялась одновременно. Во избежание "хендлинга" каждая смена альтернирующих pH сопровождалась сходной операцией в отношении контрольных особей.

Регистрировали длину и массу каждой особи перед опытом и после него. Среднесуточная удельная скорость роста рыб вычислялась по Умальгаузену (1935). Для оценки вариабельности рыб использовали коэффициенты вариации длины и массу тела. Упитанность рыб определяли по Фультону (Fulton, 1902). Для оценки устойчивости колюды к экстремальным воздействиям выявляли пороговые значения концентрации кислорода в воде и длительность выживания рыб при летальных концентрациях H^+ .

В качестве основного энергетического показателя для рыб в условиях переменного гидрион-режима использовали величину потребления кислорода и энергозатрат на единицу прироста массы, которые находили с использованием литературных данных по величине оксикалорийного коэффициента (Явлен, 1939) и калорийности сырого вещества тела рыб (Методическое пособие по изучению ... , 1974).

Интенсивность дыхания рыб изучали в замкнутых респирометрах. Содержание кислорода определяли по Винклеру (Кольцов, Плексисский, 1961). В респирометрических емкостях от 0,5 до 2,5 л помещали, в зависимости от размеров подопытных особей, такое количество рыб, при котором в соответствии с их размерами и объемом респирометра количество кислорода в воде в течение опыта не снижалось более, чем на треть от полного насыщения воды кислородом. Всего использовано особей и проведено число измерений: караса золотого соответственно - 25 и 317; карпа - 5 и 142; гуппи - 25 и 271.

Для оценки интенсивности потребления корма колюды рыб использовали метод прямого учета поедаемой пищи по количеству задаваемого и извлекаемого корма (Методическое пособие по изучению ... , 1974). В качестве показателей интенсивности питания рыб использовали количество потреблявшегося корма за время эксперимента и суточный рацион, на основе которых определяли эффективность конвертирования потребленной пищи на рост.

Особенности поведения рыб в градиентном поле pH изучали по методике, предложенной А.С. Константиновым с соавт. (Константинов, Зданович, 1993) на молоди карпа, караса золотого и гуппи. В течение десяти дней ежедневно фиксировали движение рыб в градиентном поле pH по 20 минут два раза в сутки (до кормления и после). На основании этих наблюдений рассчитывали предпочтительные значения pH и отдельные параметры поведения рыб в градиентном поле.

Статистическая обработка цифрового материала проведена по стандартной схеме (Бакин, 1990).

ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние pH на рост молоди рыб. Сведения, имеющиеся в литературе ограничены и противоречивы даже в отношении зависимости роста рыб от тех или иных концентраций H^+ . В связи с этим представлялось необходимым в наших исследованиях предварительно определить стационарные значения pH оптимальные для роста рыб.

Полученные результаты отображены на рисунке 1. С достаточной

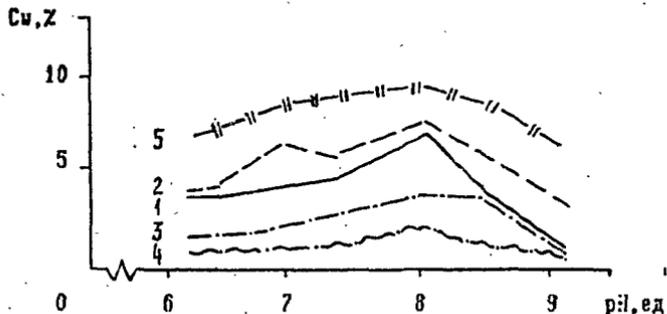


Рис.1. Скорость роста (Cв) молоди рыб при стационарных значениях pH. 1 - карась золотой, 2 - карп, 3 - плотва, 4 - уклейка, 5 - гуппи.

достоверностью ($P < 0,05$) найдено, что максимальной рост молоди карася золотого был при pH 8,0. При понижении pH до 7,5 или повышении до 8,5, скорость роста рыб снижалась соответственно в 1,2 и 1,4 раза. Как видно из приведенного рисунка, у карпа обнаружено два гидроионных оптимума роста — при pH 7,0 и 8,0, что противоречит концепции экологического оптимума. Аналогичное явление в отношении температурного оптимума роста форели обнаружила Браун (Brown, 1946). При последующих отклонениях от приведенных выше значений pH рост молоди карпа статистически достоверно ($P < 0,05$) замедлялся и при pH 6,5 и 8,5 скорость роста снижалась по сравнению с оптимальными значениями фактора соответственно в 1,8 и 1,2 раза. Молодь плотвы лучше всего росла при pH 8,0. С его повышением до 8,5 и понижением до 7,5 скорость роста понижалась соответственно в 1,1 и 1,6 раза. Разница в росте личинок и мальков уклейки при pH 8,0 и 8,5 статистически достоверно не различалась. При

дальнейшем повышении pH до 9,0 и понижении до 7,5 скорость роста уклейки статистически достоверно ($P < 0,05$) замедлялась соответственно в 1,7 и 1,3 раза. Сходная скорость роста при pH 7,5 и 8,0 отмечена для гуппи. Отклонения от этих оптимальных для роста значений pH до 7,0 и 8,5 понижали скорость роста соответственно в 1,1 и 1,3 раза.

В последующих экспериментах выявляли влияние на рост рыб периодических отклонений pH от оптимальных стационарных значений фактора. Из таблицы 1 видно, что попеременное пребывание рыб в воде с неблагоприятными концентрациями H^+ (pH 7,5-8,5) не только не снижало скорости их роста по сравнению с контролем (оптимальный или близкий к нему константный режим), но заметно повышало ее. Периодические отклонения pH в пределах одной единицы от константного оптимума статистически достоверно ($P < 0,05$) стимулировали рост караса золотого, карпа, уклейки и гуппи: весомой - соответственно в 1,40; 1,29; 1,23 и 1,20 раза; линейный - соответственно в 1,42; 1,49; 1,17 и 1,10 раза. Именно этот режим колебаний pH наиболее благоприятно влиял на рост всех изучавшихся видов рыб. Кеньже (0,5 ед) или больше (1,5-2,0 ед) перепады pH заметно слабее ускоряли рост рыб, а в некоторых случаях даже тормозили его.

В литературе имеются указания, что наиболее благоприятной для роста рыб является та динамика воздействия фактора, которая реализуется в результате самопроизвольного перемещения рыб в градиентной поле (Константинов и др., 1991). В наших исследованиях найдено, что выращивание молодежи рыб в градиентных лотках с диапазоном pH 7,5-8,5 благоприятно отразилось на их рост (табл. 2). Молодь караса золотого, карпа и уклейки обогнала контрольную (при оптимальном стационарном pH) по скорости роста в среднем: весомой - соответственно в 1,43; 1,40 и 1,24 раза; линейного - соответственно в 1,40; 1,44 и 1,17 раза. В опыте с молодежь плотвы ускоряющий эффект роста был еще более значительным: весомой - в 1,66 и линейного - в 1,45 раза, а наименьшим он оказался у гуппи (линейного и весомой в 1,18 раза).

Ускорение роста при колебаниях экологических факторов может быть, согласно литературным данным (Брежнева, 1937), первой фазой ответа на дестабилизацию внешней среды, после чего возможно его угнетение и ухудшение состояния рыб. Для выяснения этого и выявления степени проявления эффекта ускорения роста провели длительные опыты (3 месяца) на карпе и карасе золотом. Отображен-

Таблица 1. Линейный и весовой рост молодых рыб при оптимальных стандартных значениях pH (контроль) и оптимальных гидрокарбонатных (опыты) в экваториальных.

Исходные значения			Конечные показатели в контроле				Конечные показатели в опыте			
Длина, мм	Масса, мг	Число особей	Длина, мм	Масса, мг	Удельная скорость роста, % в сутки		Длина, мм	Масса, мг	Удельная скорость роста, % в сутки	
					C_L	C_W			C_L	C_W
Карась золотой										
17,2±0,4	101,9±4,1	20	20,6±0,4	180,5±5,4	1,90	5,72	22,6±0,4	244,6±5,8	2,87	8,76
19,6±0,3	162,0±2,2	20	21,3±0,3	239,3±2,4	1,68	5,57	22,6±0,3	238,4±2,4	2,75	8,73
27,5±0,5	397,0±4,2	5	30,4±0,1	662,6±5,1	1,00	5,70	30,8±0,1	692,6±2,7	1,18	6,23
Карп										
15,1±0,1	58,4±1,9	20	16,9±0,1	97,2±2,2	1,68	7,23	17,5±0,1	112,2±2,3	2,17	9,34
16,4±0,1	64,9±2,2	20	19,1±0,1	162,8±2,5	1,53	9,19	20,4±0,1	206,1±1,9	2,19	11,92
58,1±0,6	5360,0±7,0	5	62,0±1,3	7650,0±10,0	0,67	2,92	63,3±2,1	8428,0±10,0	1,17	3,75
Уклейка										
5,5±0,1	1,0	30	7,8±0,1	2,7±0,1	7,08	19,57	8,5±0,1	3,1±0,1	8,60	22,49
10,1±0,1	8,3±0,1	20	13,4±0,1	31,3±0,7	2,38	11,03	13,8±0,1	36,8±0,4	2,62	12,45
26,8±0,1	208,7±2,8	20	27,6±0,1	241,0±2,7	0,30	1,44	28,8±2,7	255,7±2,7	0,72	2,03
Гуппи										
6,9±0,1	6,0±0,1	10	11,6±0,2	32,3±0,5	5,21	16,78	11,9±0,2	34,7±0,5	5,33	17,75
13,5±0,1	42,0±1,7	10	16,4±0,3	87,9±3,6	2,47	9,23	17,1±0,2	103,0±2,2	2,99	11,21
14,8±0,2	59,3±1,4	10	18,0±0,1	128,0±1,9	2,23	8,43	18,3±0,1	141,2±1,4	2,41	9,67

Таблица 2. Линейный и весовой рост молоди рыб при оптимальных стационарных значениях pH (контроль) и в градиенте pH (опыт) в лотках.

Исходные значения			Конечные показатели в контроле			Конечные показатели в опыте				
Длина, см	Касса, мг	Число особей экз	Длина, см	Масса, мг	Удельная скорость роста,		Длина, см	Касса, мг	Удельная скорость роста,	
					χ в сутки				χ в сутки	
					C _g	C _w			C _g	C _w
Карась золотой										
17,2±0,1	101,9±4,1	20	23,8±0,4	295,8±6,4	3,30	10,70	26,4±0,5	374,7±6,2	4,33	13,02
16,7±0,1	152,3±8,1	20	20,8±0,3	192,6±8,8	3,07	3,35	22,2±0,2	232,5±9,2	4,00	6,04
27,5±0,5	397,0±4,2	20	29,3±0,1	636,8±3,8	0,75	4,76	30,5±0,1	726,8±3,8	1,20	6,09
Карп										
15,1±0,1	58,4±1,9	20	17,0±0,1	100,4±2,8	1,71	7,75	18,0±0,1	132,0±2,4	2,57	11,69
16,4±0,1	64,9±2,2	20	19,0±0,1	155,7±2,4	1,47	8,75	20,7±0,2	240,8±3,4	2,33	13,11
30,1±0,9	921,0±19,5	5	36,7±2,1	1540,0±18,0	2,03	5,14	37,9±1,1	1690,0±16,2	2,35	6,07
Уклейка										
5,5±0,1	1,0	30	7,6±0,1	2,7±0,1	7,08	19,49	8,0±0,1	3,1±0,1	8,60	22,76
10,1±0,1	8,3±0,1	20	13,8±0,2	36,5±0,5	2,62	12,42	14,5±0,2	46,0±0,6	3,03	14,33
26,8±0,1	208,7±2,8	30	27,6±0,1	251,5±3,1	0,60	1,87	28,1±0,1	270,5±2,4	0,69	2,59
Плотва										
24,5±0,1	210,3±2,3	20	25,9±0,2	242,7±3,0	0,55	1,43	26,5±0,1	266,9±2,4	0,60	2,38
Гуляби										
6,9±0,1	6,0±0,1	10	11,3±0,2	31,3±0,5	4,35	16,47	12,0±0,1	37,7±0,5	5,50	18,33
12,7±0,1	35,4±1,3	25	16,8±0,2	109,5±2,2	2,82	11,22	18,0±0,1	138,5±1,7	3,50	13,67
13,5±0,1	42,0±1,7	10	16,5±0,2	55,0±2,1	2,91	10,20	17,1±0,1	112,7±1,9	3,37	12,33

ные на рис. 2 данные указывают на проявление эффекта ускорения

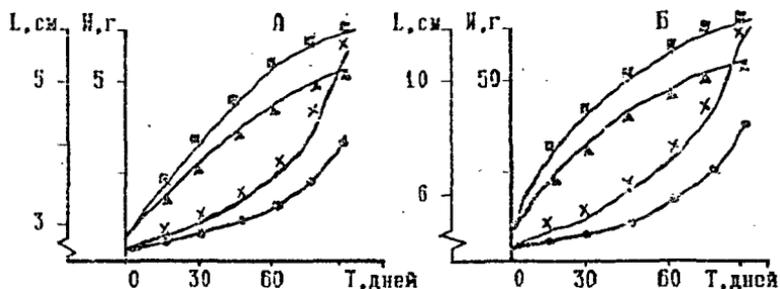


Рис. 2. Рост молоди караса золотого (Л) и карпа (Б) при оптимальном стационарном рН и в градиенте рН: Δ - длина тела рыб в контроле; \square - длина тела рыб в опыте; \circ - масса тела рыб в контроле; \times - масса тела рыб в опыте.

роста рыб и при длительных воздействиях колебаний рН. В среднем, скорость роста рыб была выше по сравнению с контролем: у караса золотого - линейного - в 1,33; весового - в 1,29 раза; у карпа - соответственно в 1,20 и 1,16 раза. Рост караса золотого более эффективно реагировал на перепады рН, что возможно связано с разной эврибионтностью сравниваемых видов рыб. Также отмечено, что длительные воздействия перепадов рН вызвали кумулятивный эффект в ускорении роста и степень его проявления возрастала от начала к концу экспериментов.

Установленные факты хорошо согласуются с имеющимися данными об ускорении роста рыб при колебаниях ряда других экологических факторов (Константинов, Зданович, 1985, 1986; Константинов, 1988; Константинов, Мартынова, 1987; Константинов, Волохов, 1990; Константинов, Мартынова, 1992; Константинов, 1993). Ускорение роста рыб, вызываемое колебаниями рН по своему абсолютному значению оказалось примерно тем же, какое обуславливалось оптимальными колебаниями температуры, солености и содержания кислорода в воде. Все это может указывать на неспецифичность ускорения роста перепадами рН, и что наблюдаемый эффект обусловлен самой изменчивостью внешней среды, непрерывной адаптацией рыб к этим колебаниям.

Влияние колебаний pH на энергетику молоди рыб. Существенно стимулирует рост рыб, колебания pH в наших исследованиях одновременно модифицировали их энергетику. Известно, что интенсивности дыхания является интегральным показателем скорости метаболических процессов и достаточно точно характеризует энерготраты аэробных животных, в частности рыб. Чем ниже величина потребления кислорода при данной скорости роста, тем ниже энерготраты на единицу прироста массы (Константинов и др., 1983).

Приведенные на рис. 3 данные показывают, что колебания pH

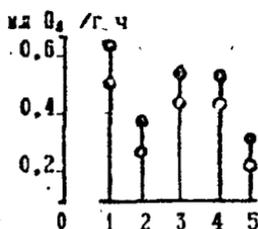


Рис. 3. Интенсивность дыхания молоди рыб в оптимальном стационарном и переменных pH: 1-карась золотой массой 0,276 г; 2-карась золотой массой 2,47 г; 3-карап массой 5,90 г; 4-гуппи массой 0,21 г; 5-гуппи массой 1,32 г. Светлые кружки - переменный гидрион-режим (7,5-8,5), черные - оптимальный стационарный pH.

вызывали ($P < 0,01$) снижение величину потребления кислорода на 5-15 %.

В целом, полученные результаты хорошо согласуются с аналогичными данными по температурному фактору других авторов (Duthie, Houlihan, 1982; Константинов, 1983).

Согласно общепринятому представлению (Ивлев, 1955; Бретт, 1983) в стабильных условиях ускорение роста связано с увеличением потребления пищи. В наших исследованиях соотношение роста и питания оказалось иным. В условиях переменного гидрион-режима ускорение роста сопровождалось не увеличением, а снижением интенсивности питания рыб, суточный рацион был в 1,1 - 1,4 раза статистически достоверно ($P < 0,05$) ниже, чем при константном оптимальном pH (табл. 3).

В результате существенного снижения суточного рациона и интенсивности дыхания (энерготраты) резко возрастает эффективности использования потребленной пищи на рост. В условиях колебаний pH кормовой коэффициент снижился: у карася золотого - в 1,62; у карпа - в 1,28 раза по сравнению с наблюдаемым при стационарном оптимальном pH (табл. 3).

Полученные данные об ускорении роста рыб, снижении интенсивности дыхания и повышении эффективности конвертирования пищи на

Таблица 3. Энергетика молодых карпов золотого и карпа при оптимальных стартовых рН и в рН - градиентном поле

Дата проведения эксперимента	рН	Плотность, г	Средняя температура, °С в сутки	Кормовой коэффициент	Потребление O_2 (мг) на 1 г веса	Закрота на 1 куб прироста, кал
Карась золотой						
12.01-27.01.93г:	7,5	0,26	23,7±0,2	9,15	599,7	2,87
	17,5±0,5	0,31	17,4±0,3	5,84	464,2	2,23
27.01-11.02.93г:	7,5	0,35	23,5±0,2	9,80	599,4	2,69
	17,5±0,5	0,46	16,9±0,2	5,96	416,1	2,14
11.02-26.02.93г:	7,5	0,46	22,2±0,1	10,00	616,7	2,96
	17,5±0,5	0,67	16,3±0,1	6,01	412,8	1,98
26.02-12.03.93г:	7,5	0,55	20,1±0,1	10,34	650,0	3,12
	17,5±0,5	0,69	14,9±0,2	6,21	375,0	1,89
12.03-22.03.93г:	7,5	0,43	19,6±0,1	11,40	673,3	3,23
	17,5±0,5	0,74	14,8±0,1	6,41	449,5	2,15
22.03-1.04.93 г:	7,5	0,49	15,2±0,1	11,63	691,9	3,23
	17,5±0,5	0,92	14,3±0,1	6,71	433,6	2,09
1.04-11.04.93 г:	7,5	0,49	14,9±0,1	12,51	770,0	3,70
	17,5±0,5	1,13	11,3±0,1	7,56	374,6	1,80
Карп						
14.10-29.10.92г:	7,5	3,83	22,1±0,4	5,46	313,7	1,51
	17,5±0,5	4,35	19,8±0,2	4,65	276,6	1,33
29.10-13.11.92г:	7,5	3,76	14,6±0,3	5,99	521,7	2,50
	17,5±0,5	5,51	16,3±0,1	5,13	376,5	1,81
13.11-28.01.92г:	7,5	5,85	19,1±0,1	7,46	477,5	2,29
	17,5±0,5	6,38	15,9±0,2	6,55	452,7	2,17
28.11-13.12.92г:	7,5	6,25	17,2±0,2	8,70	637,3	3,06
	17,5±0,5	8,38	14,9±0,1	6,76	497,4	2,39
13.12-23.12.92г:	7,5	4,87	17,1±0,2	9,31	680,1	3,26
	17,5±0,5	7,12	14,3±0,1	6,53	504,1	2,42
23.12-2.01.92 г:	7,5	5,78	16,0±0,2	8,84	685,0	3,29
	17,5±0,5	8,50	14,0±0,2	6,66	520,8	2,50
2.01-12.01.93 г:	7,5	6,28	15,7±0,2	9,49	746,7	3,58
	17,5±0,5	9,89	13,6±0,2	6,87	547,0	2,63

рост рыб могут свидетельствовать об оптимизации их метаболизма в условиях перепадов pH и увеличении доли энергии, идущей на пластический обмен. Это же подтверждается и данными, приведенными в таблице 3 о потреблении кислорода на единицу прироста. При колебаниях pH энерготраты на прирост у караса золотого уменьшились в 1,55, у карпа - в 1,28 раза.

Влияние колебаний pH на некоторые показатели физиологического состояния и рыбопродуктивные качества воды рыб. Ускорение роста и оптимизации энергетики не являются единственными показателями благоприятности условий. Не менее важно учитывать состояние и качество особей, в частности, при получении рыбопосадочного материала по таким параметрам, как вариабельность размеров и упитанность. Известно, что при улучшении условий существования изменчивость особей снижается, а упитанность возрастает (Никольский, 1955; Поляков, 1958, 1970; Владжиров, 1974; Иванов, 1978). Кроме этого, оптимизация режима выращивания рыб приводит к увеличению их резистентности к экстремальным воздействиям (Константинов, 1933).

Ускорение линейно-весового роста рыб в условиях оптимальных перепадов pH сопровождалось снижением вариабельности их размеров в наших исследованиях. Так, коэффициент вариации длины в среднем по всем сериям опытов у караса золотого уменьшился от 5,95 в начале до 4,55 к концу экспериментов, у карпа - от 2,85 до 2,41, уклейки - от 5,49 до 3,99 или соответственно в 1,30, 1,18, 1,38 раза по сравнению с таковыми при константном оптикуме (рис. 4). У плотвы и гуппи вариабельность линейных размеров снизилась соответственно от 2,76 до 1,60 и от 4,06 до 2,75 или в 1,70 и 1,48 раза по сравнению с контролем (рис. 4). Коэффициент вариации

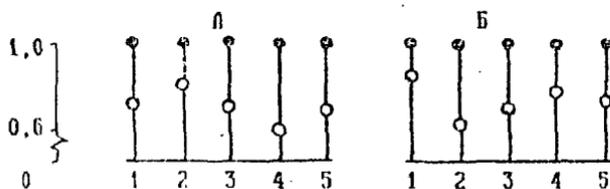


Рис. 4. Соотношение коэффициента вариации линейных (А) и весовых (Б) показателей рыб в условиях постоянства и колебания pH воды. 1 - карась золотой, 2 - карп, 3 - уклейка, 4 - плотва, 5 - гуппи. ● - оптимальный стационарный pH (8,0), ○ - колебания pH (7,5-8,5).

массы тела особей за время опыта снизилась: у караса золотого - от 6,73 до 5,44; у карпа - от 7,76 до 4,85; уклейки - от 11,54 до 7,69; плотвы - от 5,53 до 4,02 и у гуппи - от 6,25 до 4,37 или соответственно в 1,24, 1,60, 1,50, 1,38 и 1,43 раза по сравнению с контролем. Особенно благоприятно влияла на вариабельность размеров изменчивость pH, реализуемая в градиентном поле при длительном воздействии фактора. В серии хронических экспериментов у караса золотого вариабельность длины уменьшилась в 1,43, массы - в 1,39, у карпа соответственно - в 1,31 и 1,29 раза.

С оптимизацией условий роста рыб тесно связана динамика их упитанности, и характерно, что молодь, выращенная в условиях переменного pH, статистически достоверно ($P < 0,01$) была более упитанной по сравнению с контрольной. Приведенные на рисунке 5 дан-

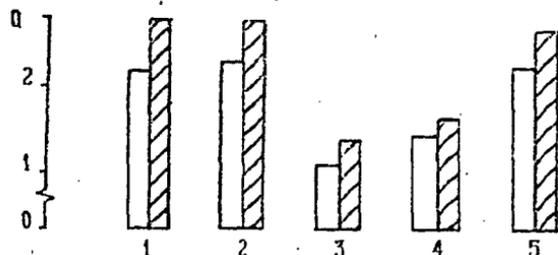


Рис. 5. Упитанность молоди рыб при стационарном оптимальном (I) и переменных (II) режимах pH. 1 - карась золотой, 2 - карп, 3 - уклейка, 4 - плотва, 5 - гуппи.

□ - I ▨ - II

ные показывают, что упитанность рыб возросла: у караса золотого - в 1,16; у карпа - в 1,09 и гуппи - в 1,13 раза. Незначительное увеличение упитанности отмечалось только у уклейки и плотвы. Закономерное возрастание упитанности рыб по сравнению с контролем прослеживалось в сериях длительных опытов с карасем золотым и карпом. В целом, за время опытов этот показатель увеличился у караса золотого в 1,30, у карпа - в 1,17 раза.

Молодь, выращенная в условиях переменного pH обладала большей устойчивостью к асфиксии. Так, нижний кислородный порог статистически достоверно ($P < 0,01$) снизился у караса золотого в

1,19, уклейки - в 1,47 и гуппи - в 1,39 раза (рис. 6). Наряду с

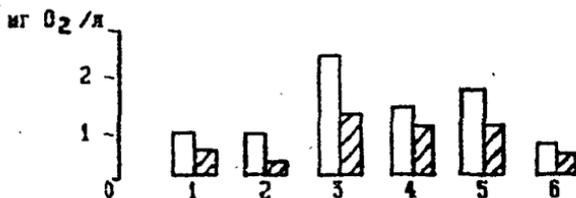


Рис. 6. Нижний кислородный порог молоди рыб в оптимальных стационарных (I) и переменных (II) режимах рН. 1 - карась золотой (масса 350 г), 2 - карась золотой (масса 850 г), 3 - уклейка (масса 20 г), 4 - уклейка (масса 40 г), 5 - гуппи (масса 30 г), 6 - гуппи (масса 140 г).
 - I. - II

этим найдено, что у рыб после воздействия переменного гидроион-режима статистически достоверно ($P < 0,05$) в 1,5 - 2 раза возрастала производительность выживания при летально низких (3,5) и катастрофо высоких (11,0) значениях рН.

Полученные данные со всей очевидностью также говорят о положительном влиянии колебания рН на физиологическое состояние молоди рыб.

Поведение молоди рыб в градиентном поле рН. Для выявления гидроионных воздействий, реализуемых рыбами в результате самопроизвольных перемещений в градиентном поле фактора, а также сравнительной двигательной активности рыб (внеплавная работа, требующая энергозатрат) в переменном гидроион-режиме и при константном рН изучали гидромонорегуляторное поведение молоди карпа, караса золотого и гуппи в градиенте рН 6,5-8,5.

При этом регистрировали: модальное значение рН; путь, проплавляемый рыбой за единицу времени (S); дальность (S_v), длительность (T_v) и число векторных перемещений (n), за которые принимали движение рыб в одном направлении. Каждое перемещение рыб в градиенте рН сопровождается сдвигом моного воздействия. Скорость этого изменения характеризовали два показателя: изменение предпочтительного рН без остановок рыб в отсеках ($d\text{pH}/d\text{t}_v$) и при их дискретном передвижении ($d\text{pH}/d\text{t}_{vd}$), т.к. при плавании в

градиенте рН рыбы могли на некоторое время останавливаться с последующим движением в том же направлении (одновекторное), либо поворачивали назад. Первый показатель, очевидно, отражает верхний предел ионного сдвига, который может перенести рыба без функциональных физиологических нарушений. Однако, после такого сдвига организму, вероятно все же, требуется определенное время для нормализации функций. Поэтому, вторая характеристика, учитывающая остановки рыб в отсеках, отражает наиболее благоприятную скорость изменений рН.

Анализ поведения молодежи в градиентном поле фактора показывает, что рыбки преимущественно держатся в зоне оптимума, но непрерывно кратковременно заплывают в отсеки с другим рН. В контроле, где рН был одинаков по всей длине лотка ("естественная вода") у рыб преобладал поисковый рефлекс и они перемещались без определенной закономерности.

Как это видно из табл. 4, в условиях градиента рН (опыт) увеличивается число векторных перемещений и длительность пути, проплываемого рыбой за один час. В целом, плавательная активность карпа возросла в 1,24, карася золотого - в 1,76 и гуппи - в 1,85 раза по сравнению со стационарным рН (контроль). Увеличение двигательной активности рыб происходило не за счет увеличения диапазона перемещений (S_v), а вследствие частой перемены направлений перемещений (n) при действии рН в градиентном поле. Это дает основание полагать, что ускорение роста рыб при колебаниях рН связано не с увеличением внешней работы, а с оптимизацией метаболизма и перераспределением энергии в пользу роста. Средняя скорость изменения рН при непрерывном перемещении составила для карпа, карася золотого и гуппи соответственно 0,13; 0,13 и 0,06 рН/сек, а при дискретном перемещении эта величина снизилась на несколько порядков (табл. 4).

Динамика гидродинамических воздействий, реализуемая рыбами в результате самопроизвольного перемещения в градиентном поле фактора и являющаяся наиболее благоприятной для их роста, может быть воспроизведена в индустриальных условиях для ускорения роста, улучшения физиологического состояния и качества рыбопосадочного материала.

Таблица 4. Некоторые характеристики гидромониторного поведения колюч рыб

Показатели	Карп		Карась золотой		Гупки	
	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
Число векторных перемещений за 1 час, (n)	65,32±3,81	52,60±4,65	39,30±2,30	22,30±0,70	30,10±1,42	16,30±0,50
Путь, проплываемый рыбой за 1 час, м (S)	3,24±0,47	2,10±0,02	1,49±0,09	1,21±0,05	0,72±0,04	0,46±0,04
Средняя дальность векторного перемещения, м (Sv)	0,37±0,03	0,40±0,02	0,37±0,03	0,55±0,01	0,24±0,01	0,29±0,01
Средняя длительность векторного перемещения без учета остановок в отсеках, сек (Cv)	3,69±0,31	4,20±0,20	3,95±0,12	5,80±0,07	5,00±0,08	6,06±0,04
Средняя длительность дискретного векторного перемещения, сек (Cvd)	41,90±0,90	69,30±1,60	91,60±1,80	164,20±3,10	121,00±4,43	220,50±3,50
Максимальное значение pH, ед	7,42±0,04	-	7,47±0,03	-	7,47±0,03	-
Средняя скорость изменения pH при непрерывном нагревании, ед/сек (d pH/dcv)	0,13±0,01	-	0,13±0,01	-	0,06	-
Средняя скорость изменения pH при дискретном перемещении, ед/сек (d pH/dCvd)	(1,16±0,02) · 10 ⁻²	-	(5,39±0,02) · 10 ⁻³	-	(2,75±0,05) · 10 ⁻³	-

В И В О Д Н

1. Для каждого из исследованных видов рыб характерна некоторая постоянная концентрация водородных ионов, при которой наблюдается наибольшая скорость роста. По мере отклонения рН от оптимального стационарного значения рост замедляется.

2. Небольшие периодические отклонения рН от оптимальных стационарных значений не только не ухудшают, но даже заметно ускоряют рост рыб. Ни в каком оптимальном стационарном режиме рН не достигаются те высокие скорости роста рыб, которые наблюдаются в переменном гидрион-режиме.

3. Наиболее благоприятной для роста является та динамика гидрионных воздействий, которая реализуется рыбами в результате их самопроизвольного перемещения в градиенте рН. В градиентном поле рыбы преимущественно держатся в узкой зоне рН, близкой к оптимальной в стационарном режиме, но непрерывно кратковременно покидают за пределы этой зоны.

4. Живительная активность рыб (путь, проплавываемый рыбой за единицу времени) в условиях градиента рН возрастает. Это происходит не за счет увеличения диапазона перемещений, а вследствие частой перемены направления движений при действии рН в градиентном поле. Есть основания полагать, что улучшение энергетики в условиях градиента-рН связано не с уменьшением внешней работы, а изменением метаболизма и перераспределением энергии в пользу массакопления.

5. По мере продолжительности воздействия колебаний рН на рыб эффект ускорения роста усиливается. Это связано не с увеличением размеров рыб, а с длительностью их пребывания в условиях переменного режима. В условиях длительных воздействий переменного фактора наблюдается кумулятивный эффект ускорения роста.

6. Колебания рН в оптимальных параметрах вызывают снижение интенсивности дыхания, суточного рациона и расхода кислорода на единицу прироста массы, увеличение конвертирования потребленной пищи на рост. Все это свидетельствует об оптимизации энергетики в переменном гидрион-режиме и перераспределении энергии в пользу роста.

7. В условиях переменного гидрион-режима наблюдается улучшение физиологического состояния и качества молодки рыб: повышается питательность, возрастает гидрионорезистентность и устойчивость к дефициту кислорода, снижается вариабельность размеров особей.

8. Существенное повышение скорости роста, оптимизация энергетики, улучшение физиологического состояния и качества рыб, выращенных в переменном гидрион-режиме свидетельствует о перспективе его использования в индустриальном рыбоводстве.

СПИСОК РАБОТ
опубликованных по теме диссертации

1. Влияние кислотности воды на рост молоди рыб / Мордов. ун-т. - Саранск, 1993. 15 с. Деп. в ВНИИТИ. 17.06.93. № 9-288.

2. О кислотности воды в связи с астатичностью условий обитания рыб / Мордов. ун-т. - Саранск, 1993. 8 с. Деп. в ВНИИТИ. 17.06.93. № 9-292. (в соавт. с В.С.Вечкановым и М.В.Демидовым).

3. Влияние кислотности воды на рост молоди рыб // Материалы научной конференции: Тезисы докладов XXI Огаревских чтений. - Саранск: Из-во Мордовск. ун-та, 1993. - С. 40-41. (в соавт. с В.С. Вечкановым).

4. О влиянии колебаний pH внешней среды на интенсивность дыхания некоторых рыб // Материалы научной конференции: Тезисы докладов XXII Огаревских чтений. - Саранск: Из-во Мордовск. ун-та, 1993. - С. 94. (в соавт. с В.С.Вечкановым).

5. Гидроионопреферендное поведение молоди некоторых видов рыб / Мордов. ун-т. - Саранск, 1994. 16 с. Деп. в ВНИИТИ. 24.01.94. № 3-152. (в соавт. с В.С.Вечкановым и М.В.Демидовым).