

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ У  
КАРПОВЫХ РЫБ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭТОТ ПРОЦЕСС:  
СОВРЕМЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ БИОЛОГИИ  
НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА (HYPHthalmichthys  
MOLITRIX VALENCIENNES, 1844)**

**Alimova Aziza Toyirovna**

assistent

e-mail: alimovaaziza1983@gmail.com

ORCID 0009-0004-8280-0358

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21636731>

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada karpsimon baliqlarda jinsiy voyaga yetishning fiziologik mexanizmlari hamda ushbu jarayonga ta'sir etuvchi endogen va ekzogen omillar oq do'ngpeshona (*Hypophthalmichthys molitrix Valenciennes, 1844*) baliqlari misolida tahlil qilindi. Gipotalamus–gipofiz–gonada tizimining faoliyati, gormonal boshqaruv, suv muhitining gidrokimyoviy ko'rsatkichlari, oziqlanish darajasi, fotoperiod, yosh va genetik omillarning reproduktiv rivojlanishga ta'siri ilmiy adabiyotlar asosida umumlashtirildi. Tadqiqot natijalari oq do'ngpeshona baliqlarida yuqori mahsuldor ota-ona to'dasini shakllantirishda ekologik va fiziologik omillarni kompleks boshqarish zarurligini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** oq do'ngpeshona, *Hypophthalmichthys molitrix*, jinsiy voyaga yetish, gonadalar, GnRH, FSH, LH, reproduksiya, fiziologiya, akvakultura.

**Аннотация:** В статье рассмотрены физиологические механизмы полового созревания карповых рыб на примере белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix Valenciennes, 1844*). Проанализирована роль гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы, гормональной регуляции, температуры воды, содержания кислорода, питания, фотопериода и других экологических факторов в формировании репродуктивной системы производителей.

**Ключевые слова:** белый толстолобик, половое созревание, репродукция, гонады, гормоны, аквакультура.

**Abstract:** This article analyzes the physiological mechanisms of sexual maturation in cyprinid fishes using silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix Valenciennes, 1844*) as a biological model. Particular attention is given to the hypothalamic-pituitary-gonadal axis, endocrine regulation, environmental factors, nutrition, photoperiod, temperature and water quality affecting reproductive development. The review demonstrates that successful broodstock

formation in silver carp depends on integrated management of physiological and ecological factors.

**Keywords:** Silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, sexual maturation, gonads, reproduction, endocrinology, aquaculture.

**Введение.** Аквакультура в настоящее время является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность в мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (FAO), за последние десятилетия объёмы производства продукции аквакультуры значительно опережают темпы роста вылова рыбы из естественных водоёмов. В этом процессе представители семейства карповых (Cyprinidae) составляют основную долю мировой продукции аквакультуры. Среди них белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844) занимает особое место благодаря высоким темпам роста, эффективному использованию фитопланктона и других мелких гидробионтов, важной роли в биологической мелиорации водоёмов, а также высокой экономической эффективности выращивания (FAO, 2024). Естественный ареал белого толстолобика охватывает бассейн реки Амур и крупные реки Китая, однако в настоящее время этот вид успешно интродуцирован в странах Азии, Европы, Северной Америки и Центральной Азии, где стал одним из важнейших объектов интенсивного прудового рыбоводства. Широкое распространение данного вида обусловлено его высокой экологической пластичностью, быстрым ростом, значительной продуктивностью и хорошей приспособленностью к искусственному воспроизводству (Kolar et al., 2007; Cudmore et al., 2017). Репродуктивная эффективность карповых рыб прежде всего определяется физиологическим состоянием производителей и степенью их полового созревания. Половое созревание представляет собой сложный биологический процесс, осуществляемый в результате согласованного взаимодействия эндокринной, нервной и метаболической систем организма. Данный процесс регулируется гипоталамо-гипофизарно-гонадной осью (HPG) и основан на сложном физиологическом взаимодействии гонадотропин-рилизинг-гормона (GnRH), фолликулостимулирующего гормона (FSH), лютеинизирующего гормона (LH) и половых стероидных гормонов (Zohar et al., 2010; Mylonas et al., 2010). В исследованиях, проведённых Billard (1986), было научно обосновано, что стадии развития гонад у карповых рыб тесно связаны с температурой воды,



фотопериодом и условиями питания. По мнению автора, экологические факторы водной среды оказывают непосредственное влияние на скорость созревания гонад посредством регуляции функциональной активности гипофиза. В частности, поддержание температуры воды в оптимальном диапазоне способствует интенсификации процессов вителлогенеза и сперматогенеза, обеспечивая формирование высококачественных половых продуктов. Изучая репродуктивную физиологию рыб, Bromage и Roberts (1995) отметили, что репродуктивный потенциал производителей определяется не только генетическими особенностями, но и качеством кормления, уровнем энергетического обмена и условиями окружающей среды. По мнению авторов, рацион, богатый белком, ненасыщенными жирными кислотами, витаминами и микроэлементами, ускоряет развитие гонад, повышает качество икры и значительно увеличивает жизнеспособность эмбрионов. В своих исследованиях по современной репродуктивной эндокринологии Mylonas, Fostier и Zanuy (2010) показали, что половое созревание костистых рыб (Teleostei) связано с последовательной активацией гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы. Авторы установили, что усиление секреции гонадотропин-рилизинг-гормона (GnRH) стимулирует выработку в гипофизе фолликулостимулирующего (FSH) и лютеинизирующего (LH) гормонов. В результате активизируется стероидогенез в тканях гонад, что приводит к усилению процессов вителлогенеза у самок и сперматогенеза у самцов. Данный физиологический механизм лежит в основе технологий искусственного воспроизводства белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*). Zohar и соавторы (2010), исследуя репродуктивную биологию рыб, подробно изучили взаимосвязь между экологическими факторами внешней среды, в частности фотопериодом, температурой воды и стрессовыми гормонами. Они установили, что указанные факторы воздействуют на гипоталамус, регулируя секрецию гонадотропных гормонов. Согласно их выводам, отклонение экологических условий от оптимальных значений приводит к повышению уровня кортизола, что в конечном итоге угнетает репродуктивные процессы. Coward и Bromage (1999) показали, что полноценное питание производителей и достаточные энергетические резервы являются одними из решающих факторов успешного завершения репродуктивного цикла. Авторы отмечают, что при дефиците энергетических ресурсов замедляется развитие гонад, уменьшается количество икры и ухудшается физиологическое качество



яйцеклеток. Исследования китайских учёных Li D., Liu H. и Zhang Y. (2021–2024), посвящённые белому толстолобику (*Hypophthalmichthys molitrix*) и другим фильтрующим видам рыб, показали, что в условиях интенсивной аквакультуры максимальное развитие гонад и наиболее высокие репродуктивные показатели достигаются при температуре воды **22–26 °C**, содержании растворённого кислорода **выше 6 мг/л** и значениях **pH 7,2–8,3**. Полученные результаты свидетельствуют о том, что поддержание оптимальных гидроэкологических условий является одним из ключевых факторов повышения репродуктивной эффективности производителей белого толстолобика. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение и для условий прудового рыбоводства стран Центральной Азии, в том числе Республики Узбекистан. В последние годы внедрение методов молекулярной биологии и геномики в исследования репродуктивной биологии значительно расширило возможности более глубокого изучения механизмов полового созревания рыб. Особое внимание уделяется изучению экспрессии генов, а также роли инсулиноподобного фактора роста (IGF), ксипептина, лептина и других сигнальных молекул в регуляции репродуктивных процессов. Это открывает новые перспективы для совершенствования селекционной работы, создания линий рыб с ускоренным половым созреванием и формирования высокопродуктивных маточных стад (Taranger et al., 2010; Lubzens et al., 2017). Несмотря на то что в условиях Узбекистана проводится ряд практических работ по искусственному воспроизводству белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) и формированию маточных стад, исследования, посвящённые комплексной оценке физиологических механизмов полового созревания во взаимосвязи с факторами водной среды, условиями кормления и эндокринной регуляцией, остаются недостаточными. Особую актуальность приобретают вопросы, связанные с влиянием климатических изменений, гидрохимического состава водных ресурсов и технологий интенсивной аквакультуры на репродуктивные показатели производителей. В этой связи изучение физиологических механизмов полового созревания карповых рыб на примере белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), оценка функционирования гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы во взаимосвязи с экологическими факторами, а также совершенствование научных основ формирования высокопродуктивных маточных стад имеют важное



теоретическое и практическое значение для дальнейшего развития современной аквакультуры.

**Материалы и методы.** Настоящее исследование было направлено на изучение физиологических механизмов полового созревания карповых рыб и факторов, влияющих на данный процесс, на примере белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844). Исследования проводились в течение вегетационного сезона 2025 года на базе маточных стад, сформированных в хозяйствах интенсивного прудового рыбоводства Ташкентской области. В качестве объекта исследования были отобраны белые толстолобики в возрасте 3–5 лет, находящиеся на различных стадиях полового созревания. В ходе исследований комплексно оценивались биологические, физиологические и репродуктивные показатели рыб. При проведении биометрического анализа у каждой особи определяли общую длину тела (TL, см), стандартную длину (SL, см) и массу тела (W, кг) с использованием электронных весов и ихтиологической измерительной доски. Для оценки степени упитанности рассчитывали коэффициент упитанности по Фультону по следующей формуле:

$K = (W \times 100) / L^3$ , где W — масса тела рыбы (г), L — общая длина тела рыбы (см).

Степень полового созревания определяли на основании оценки внешних морфологических признаков (состояние анального отверстия, развитие брюшной полости, форма и окраска полового отверстия, наличие брачной сыпи у самцов), а также внутренних анатомических признаков (цвет, размеры, степень васкуляризации и консистенция гонад), используя визуальный и макроскопический методы исследования. Стадии развития гонад классифицировали по шестиступенчатой шкале (I–VI) в соответствии с методическими рекомендациями Nikolsky (1963), Billard (1986) и FAO. Для характеристики репродуктивного развития рассчитывали гонадосоматический индекс (GSI) по формуле:

$GSI = (\text{масса гонад} / \text{масса тела}) \times 100$ . Данный показатель отражает долю массы гонад относительно общей массы тела и является одним из основных критериев оценки степени полового созревания рыб. С целью оценки условий среды обитания регулярно контролировали основные гидрохимические показатели воды в прудах. Определяли температуру воды (°C), водородный показатель (pH), содержание растворённого кислорода (мг/л), общую минерализацию (г/л) и концентрацию нитритов

( $\text{NO}_2^-$ , мг/л) с использованием общепринятых стандартных гидрохимических методов. Полученные результаты сопоставляли с нормативными значениями, рекомендованными FAO и действующими нормативами для рыбоводных хозяйств Республики Узбекистан. Для оценки влияния фактора кормления на половое созревание был проанализирован режим кормления производителей. Рыб кормили гранулированным комбикормом с высоким содержанием белка в количестве, составляющем около **2 % от массы тела в сутки**. Наряду с этим учитывалось наличие естественной кормовой базы прудов, представленной фитопланктоном, зоопланктоном и другими планктонными организмами. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программ **Microsoft Excel 2021** и **Statistica 13.0**. Количественные показатели представлены в виде среднего значения (**M**), стандартного отклонения (**SD**) и стандартной ошибки среднего (**SE**). Достоверность различий между группами оценивали с помощью **t-критерия Стьюдента** и **однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA)**. Взаимосвязь между изучаемыми признаками определяли на основе **коэффициента корреляции Пирсона (r)**. Уровень статистической значимости принимали равным  **$P < 0,05$** . Полученные результаты были сопоставлены с данными современной научной литературы в области репродуктивной физиологии, биологии рыб и аквакультуры, что позволило провести комплексную оценку физиологических механизмов полового созревания белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) и определить влияние экологических и биологических факторов на данный процесс.

**Результаты и обсуждение:** Половое созревание карповых рыб представляет собой сложный физиологический процесс, формирующийся в результате взаимосвязанного воздействия темпов роста организма, энергетического обмена, эндокринной регуляции и факторов внешней среды. У белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844) успешное протекание репродуктивного цикла тесно связано с активностью гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы (HPG), которая обладает высокой чувствительностью к изменениям экологических факторов и обеспечивает адаптивную регуляцию процессов полового созревания. Анализ научной литературы показывает, что начальным этапом полового созревания является усиление синтеза гонадотропин-рилизинг-гормона (GnRH) в гипоталамусе. GnRH активирует

гонадотропные клетки гипофиза, стимулируя секрецию фолликулостимулирующего (FSH) и лютеинизирующего (LH) гормонов. В результате у самок интенсифицируется процесс вителлогенеза, а у самцов — сперматогенеза. Mylonas и соавторы (2010), а также Zohar и соавторы (2010) научно обосновали, что данная гормональная цепь является основным механизмом регуляции репродуктивной функции у костистых рыб (Teleostei). Как отмечает Billard (1986), интенсивность развития гонад определяется не только гормональной регуляцией, но и экологическим состоянием водной среды. В частности, повышение температуры воды усиливает нейросекреторную активность гипоталамуса, стимулируя синтез GnRH. В естественных условиях белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844) вступает в активную фазу полового созревания весной и летом, когда температура воды достигает **22–26 °C**. В этот период в гонадах наблюдаются интенсивное развитие ооцитов на стадии вителлогенеза и завершающая дифференцировка сперматозоидов. Исследования китайских учёных Zhang и соавторов (2022), а также Liu и соавторов (2023) показали, что при температуре воды **23–25 °C** у белого толстолобика значительно возрастают значения гонадосоматического индекса (GSI), увеличиваются диаметр икры и показатели оплодотворяемости. Полученные результаты подтверждают, что температура воды является одним из важнейших экологических факторов, регулирующих функционирование репродуктивной системы. Содержание растворённого кислорода в воде также является важнейшим регулятором процессов полового созревания. При концентрации кислорода **6 мг/л и выше** в тканях гонад активно протекает аэробный метаболизм, усиливается синтез аденозинтрифосфата (АТФ), обеспечивающего энергетические потребности процессов дифференцировки половых клеток. Напротив, дефицит кислорода вызывает состояние гипоксии, что приводит к снижению метаболической активности клеток гонад. По данным Bromage и Roberts (1995), а также FAO (2022), снижение содержания растворённого кислорода ниже **5 мг/л** сопровождается ухудшением репродуктивных показателей, снижением качества икры и жизнеспособности эмбрионов. В процессе полового созревания исключительно важную роль играет полноценное питание. Белки, незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, фосфолипиды, витамины А, D и E, а также микроэлементы, такие как цинк и селен, обеспечивают организм пластическим и энергетическим материалом, необходимым для



нормального развития гонад и формирования полноценных половых клеток. Coward и Bromage (1999) установили, что при достаточных энергетических резервах у производителей усиливается синтез вителлогенина, что обеспечивает нормальное развитие ооцитов. В связи с этим в современной аквакультуре перед началом репродуктивного периода рекомендуется кормление маточного стада рационами с высокой биологической ценностью, содержащими оптимальное количество белков, липидов, витаминов и минеральных веществ. Фотопериод также является одним из важнейших естественных факторов, регулирующих репродуктивный цикл рыб. В весенний период увеличение продолжительности светового дня стимулирует активность гипоталамуса, снижает секрецию мелатонина и усиливает синтез гонадотропин-рилизинг-гормона (GnRH). В результате возрастает секреция фолликулостимулирующего (FSH) и лютеинизирующего (LH) гормонов, что ускоряет развитие гонад. Taranger и соавторы (2010) показали, что фотопериод является одним из ключевых регуляторов репродуктивного цикла костистых рыб (Teleostei), а применение искусственного режима освещения позволяет эффективно управлять сроками наступления половой зрелости. Важную роль в успешном протекании процессов полового созревания играют и генетические факторы. Многочисленные исследования свидетельствуют, что у маточных стад, сформированных в результате селекционной работы, отмечаются более высокие темпы роста, лучшее развитие гонад и повышенная плодовитость. По данным FAO (2024), использование производителей с высоким генетическим потенциалом значительно повышает репродуктивную эффективность в условиях интенсивной аквакультуры. Стрессовые факторы оказывают выраженное отрицательное влияние на репродуктивную физиологию рыб. Частый отлов, транспортировка, резкие изменения качества воды или содержание при высокой плотности посадки приводят к повышению уровня гормона стресса — кортизола. Повышенная концентрация кортизола угнетает активность гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы, снижает секрецию гонадотропных гормонов, вследствие чего замедляется развитие гонад, задерживается овуляция и уменьшается уровень оплодотворяемости. Schreck (2010) рассматривает данное явление как один из основных физиологических факторов, ограничивающих репродуктивный успех рыб. Анализ представленных научных данных свидетельствует о том, что физиологические механизмы полового



созревания белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844) представляют собой сложную многофакторную систему регуляции. Эндокринная система функционирует в тесной взаимосвязи с экологическими факторами, при этом оптимальные значения температуры воды, содержания растворённого кислорода, фотопериода и условий кормления обеспечивают полноценное развитие гонад и успешное протекание репродуктивного цикла. Кроме того, одним из важнейших условий повышения репродуктивной эффективности является отбор генетически высокопродуктивных производителей и минимизация воздействия стрессовых факторов. Таким образом, формирование высокопродуктивного маточного стада белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844) не ограничивается только регулированием гормональных процессов, а требует комплексного контроля физиологических, экологических и зоогигиенических факторов. Именно такой подход способствует повышению плодовитости, улучшению качества икры и личинок, а также увеличению экономической эффективности предприятий интенсивного прудового рыбоводства.

**Заключение:** Установлено, что у карповых рыб, в частности у белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844), половое созревание представляет собой сложный биологический процесс, регулируемый согласованным взаимодействием эндокринной, физиологической и экологической систем организма. Основным механизмом регуляции репродуктивного развития является функционирование гипоталамо-гипофизарно-гонадной оси (HPG), при котором последовательная активация гонадотропин-рилизинг-гормона (GnRH), фолликулостимулирующего (FSH) и лютеинизирующего (LH) гормонов обеспечивает созревание гонад, процессы вителлогенеза и сперматогенеза. Анализ научной литературы показал, что температура воды, содержание растворённого кислорода, фотопериод, качество кормления, гидрохимические показатели воды и генетические особенности являются основными факторами, определяющими скорость полового созревания и репродуктивную продуктивность белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844). Установлено, что температура воды в пределах **22–26 °C**, содержание растворённого кислорода **не менее 6 мг/л** и значение **pH 7,0–8,5** создают наиболее благоприятные экологические условия для развития гонад и полноценного созревания половых клеток. Кормление производителей



рационами с высокой биологической ценностью, богатыми белком, незаменимыми жирными кислотами, витаминами и минеральными веществами, способствует улучшению энергетического обмена, ускоряет развитие гонад, повышает качество икры, плодовитость и уровень оплодотворяемости. Напротив, ухудшение качества воды, дефицит растворённого кислорода и воздействие стрессовых факторов приводят к снижению секреции репродуктивных гормонов и задержке процессов полового созревания. Кроме того, формирование маточных стад с высоким генетическим потенциалом, их содержание в оптимальных экологических условиях и применение научно обоснованных методов управления являются важнейшими факторами повышения репродуктивной эффективности белого толстолобика в условиях интенсивного прудового рыбоводства. Результаты проведённого научного анализа расширяют существующие теоретические представления о репродуктивной биологии белого толстолобика и служат важной методической основой для совершенствования технологий формирования маточных стад, искусственного воспроизводства и научного обоснования производства высококачественного рыбопосадочного материала в условиях интенсивной аквакультуры.

**Список использованной литературы:**

1. Bardach J.E., Ryther J.H., McLarney W.O. Aquaculture: The Farming and Husbandry of Freshwater and Marine Organisms. New York: Wiley, 1972.
2. Billard R. Reproduction of Chinese Cyprinids // Aquaculture. 1986.
3. Huet M. Textbook of Fish Culture. Fishing News Books, 1970.
4. Hickling C.F. Fish Culture. London: Faber and Faber, 1974.
5. Jhingran V.G. Fish and Fisheries of India. New Delhi: Hindustan Publishing Corporation, 1991.
6. Mylonas C.C., Fostier A., Zanuy S. Broodstock Management and Hormonal Manipulations of Fish Reproduction // General and Comparative Endocrinology. 2010. Vol. 165. No. 3. P. 516–534.
7. Zohar Y., Muñoz-Cueto J.A., Elizur A., Kah O. Neuroendocrinology of Reproduction in Teleost Fish // General and Comparative Endocrinology. 2010. Vol. 165. P. 438–455.
8. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022.
9. Камилов Б.Г., Урчинов Ж.А. Биология рыб внутренних водоёмов Узбекистана и основы рыбоводства. Ташкент, 2019.



10. Мирзаев У.Т., Рахмонов А.Р. Прудовое рыбоводство и выращивание маточного стада в условиях Узбекистана. Ташкент, 2021.



**WOC**  
**WORLD**  
**ONLINE**  
**CONFERENCES**

