

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»
(ФГБОУ ВО «МГУТУ им К.Г. Разумовского (ПКУ)»)

На правах рукописи

Климук Анастасия Алексеевна

**ПРОДУКТИВНОСТЬ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И
АККЛИМАТИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДОВ
АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА
CLARIAS GARIEPINUS В УСЛОВИЯХ ПРУДОВЫХ ХОЗЯЙСТВ
III И IV РЫБОВОДНЫХ ЗОН**

4.2.4 Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и
производства продукции животноводства

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата биологических наук**

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
Никифоров-Никишин Алексей Львович

Москва – 2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ: ФИЗИОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ <i>CLARIAS GARIEPINUS</i>	12
1.1 Африканский клариевый сом <i>Clarias gariepinus</i> в индустриальной аквакультуре	12
1.1.1 <i>C. gariepinus</i> – перспективный объект товарного рыбоводства в РФ	14
1.1.2 Автономные системы выращивания – установки замкнутого водоснабжения.....	16
1.1.3 Прудовые хозяйства, специализирующиеся на выращивании <i>C.</i> <i>gariepinus</i>	19
1.2 Зоотехнические работы с африканским клариевым сомом в России и за рубежом	22
1.2.1 Основные параметры оценки особей	23
1.2.2 Получение гибридных особей и проблема инбридинга	25
1.3 Физиолого-экологические особенности культивирования африканского клариевого сома <i>Clarias gariepinus</i>	28
1.3.1 Влияние температуры на инкубацию икры и эмбриогенез <i>C.</i> <i>gariepinus</i>	29
1.3.2 Воздействие температур на жизнедеятельность личинок <i>C.</i> <i>gariepinus</i>	32
1.3.3 Термальные диапазоны культивирования молоди африканских сомов.....	34
1.3.4 Зависимость репродуктивных функций половозрелых особей <i>C.</i> <i>gariepinus</i> от температуры среды.....	37
1.3.5 Влияние температуры среды на питание африканских сомов	39
1.4 Биологические маркеры в изучении температурной акклимации рыб ...	43
1.4.1 Гематологические маркеры	44
1.4.2 Биохимические маркеры	45

1.4.3	Гистологические маркеры.....	46
1.4.4	Генетическая экспрессия.....	47
1.5	Обоснование темы диссертационного исследования.....	48
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ		50
2.1	План исследования.....	50
2.2	Объекты исследования и условия содержания	50
2.3	Получение гибридного потомства	54
2.4	Рыбоводно-биологические показатели	58
2.5	Морфометрический анализ	59
2.5.1	Показатели экстерьерной оценки.....	59
2.5.2	Продукционно-метрические характеристики	61
2.6	Акклимация молоди к пониженным температурам водной среды.....	61
2.6.1	Гематологический анализ крови	63
2.6.2	Биохимические показатели сыворотки крови.....	65
2.6.3	Гистология тканей печени, кишечника и кожных покровов.....	65
2.6.4	Транскриптомный анализ печени	66
2.7	Технологическая оценка рыбной продукции	68
2.8	Статистическая обработка данных.....	69
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ: ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНОГО ПОТОМСТВА <i>C. GARIEPINUS</i> , АККЛИМИРОВАННОГО К ПОНИЖЕННЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ.....		70
3.1	Межпородная гибридизация <i>C. gariepinus</i>	70
3.1.1	Отбор и подбор производителей и получение потомства первого поколения	70
3.1.2	Разведение в себе гибридов F1 и получение потомства второго поколения	73
3.2	Акклимация гибридной молоди к пониженным температурами водной среды	76
3.2.1	Гематологический профиль	76
3.2.2	Биохимические механизмы акклимации	84

3.2.3	Гистологические изменения тканей.....	96
3.2.4	Функциональные группы дифференциально экспрессируемых генов.....	100
3.3	Результаты научно-хозяйственных испытаний по выращиванию молоди африканского сома в прудах Курской и Белгородской областей за вегетационные периоды 2023 и 2024 гг. (III и IV рыбоводные зоны)	109
3.3.1	Результаты морфометрического анализа гибридов и родительских линий	109
3.3.2	Результаты анализа рыбопродуктивности водоемов в 2023 и 2024 гг.....	113
3.3.3	Технологическая переработка сырья и химический состав филе..	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
	НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	121
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	122
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	123
	Приложение А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных	143
	Приложение Б. Рыбоводная инструкция	144
	Приложение В. Акты о зарыблении прудовых хозяйств	146
	Приложение Г. Акты об облове прудовых хозяйств 2023 и 2024 гг.	148
	Приложение Д. 25 ДЭГ, обладающие повышенным уровнем экспрессии у <i>Clarias gariepinus</i> при пониженных термальных режимах содержания (15°C).....	150
	Приложение Е. 24 ДЭГ, обладающие пониженным уровнем экспрессии у <i>Clarias gariepinus</i> при пониженных термальных режимах содержания (15°C).....	151
	Приложение Ж. УчМП «Методы селекционно-генетических исследований объектов товарного рыбоводства (на примере клариевого сома)».....	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Интенсификация отечественного производства аквакультурных видов рыб предполагает работы по увеличению продуктивности и жизнестойкости существующих линий, кроссов и пород. Одним из нетрадиционных, но перспективных высокопродуктивных видов рыб является африканский клариевый сом *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), обладающий рядом отличительных полезных качеств (культивация при высоких плотностях посадки, высокая скорость роста и выход конечной рыбопродукции (Besson et al., 2014; Adeshina, Abdel-Tawwab, 2020). Рыбоводные хозяйства, специализирующиеся на полноциклическом производстве африканских сомов: Краснодарский край, порода таманская (пат. №10639) и Ярославская область, порода михайловская (пат. №9064), содержат собственные линии, зарегистрированные в реестре МСХ РФ. Они обладают улучшенными показателями продуктивности и широкими экологическими диапазонами толерантности. Возможность проведения скрещивания линий разных пород клариевого сома в перспективе может улучшить продукционные и адаптивные характеристики потомства за счет эффекта гетерозиса и закрепить перечисленные полезные качества. Формирование групп рыб, устойчивых к пониженным температурам, приведет к созданию новых высокопродуктивных линий, пригодных для товарного выращивания в зонах с умеренным климатом.

Африканский сом является теплолюбивым видом рыб, которого разводят при температуре 28-30°C. Культивацию клариевого сома в России проводят в установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ). В южных регионах *C. gariepinus* успешно выращивают в прудовых и садковых хозяйствах при средних температурах 25-28°C за вегетационный период (Булавин и др., 2021; Денисенко, 2023). Клариевый сом часто рассматривают в качестве дополнительного объекта разведения в системах поликультуры с

растительными рыбами в южных регионах РФ (Власов, 2009; Егоров, Пашков, 2015; Рудой. и др., 2023). Однако прудовое выращивание клариевого сома в регионах с умеренным климатом проблематично ввиду их неприспособленности к температурам $<21^{\circ}\text{C}$.

Среди абиотических факторов, тесно связанных с водной средой и гидробионтами, температура играет ключевую роль в цикле жизнедеятельности пойкилотермных организмов. Физиологические процессы, кормовое поведение, иммунные реакции, регуляция экспрессии генов, размножение и зональное распределение рыб строго зависят от температуры водной среды. При выращивании в открытых рыбохозяйственных водоемах существуют риски резких колебаний температуры ($6-10^{\circ}\text{C}$), которые приводят к необратимым последствиям в организме рыб, вызывают различные патологии, снижают выживаемость. Для расширения зон культивирования африканских клариевых сомов в России необходимо, во-первых, улучшить качество посадочного материала *C. gariepinus* посредством выбора наиболее продуктивных особей, и, во-вторых, получить акклиматизированный посадочный материал, сочетающий в себе высокую продуктивность с широким адаптационным потенциалом для выращивания в регионах с умеренным климатом с коротким вегетационным периодом (III и IV рыболовные зоны РФ).

Степень разработанности темы исследований. Введение африканского сома *C. gariepinus* в аквакультуру в Российской Федерации началось с 1993-1996 гг. и достигло существенных успехов: внедрены технологии искусственного оплодотворения (гормональные инъекции, получение гипофизов), изучены особенности инкубационного выращивания и оптимизировано получение товарных рыб в установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) (Микодина, Широкова, 1997; Мельченков и др., 2008). Также применяется прудовое выращивание в водоемах-охладителях ГЭС, садковое и бассейновое в летние периоды (Денисенко, 2013; Подушка, 2016; Булавин и др., 2021).

Изучению воздействия температурных условий содержания на молодь

африканских сомов, в частности, на иммунные параметры, питание и рыбоводно-биологические показатели уделяется значительное внимание как со стороны отечественных, так и зарубежных исследователей (Власов и др., 2012; Любомирова и др., 2019; Ahmad et al., 2014; Olaniyi, Omitogun, 2014; Prokešová et al., 2015). Селекционно-племенные работы с африканским сомом *C. gariepinus* проводились в специализированных отечественных рыбоводных хозяйствах. В частности, в 2017 г. были получены породные группы «Михайловская» (ООО «ИНАГРОБИО» и в 2019 г. – «Таманская» (ООО РЭНТОП-АГРО-5), зарегистрированные в государственном реестре селекционных достижений (2023 г) как породы.

Представляется перспективным и необходимым разработать комплексную модель оценки холодоустойчивости, изучить генетически-опосредованные акклимационные и адаптационные возможности молоди африканского сома для полноценного рыбохозяйственного использования в прудовой товарной аквакультуре средней полосы России. Необходимо провести оценку продуктивности родительских пород, изучить особенности и закономерности формирования продуктивных и адаптивных качеств потомства, демонстрирующего высокую степень жизнестойкости и разработать рыбоводную инструкцию получения холодоустойчивых африканских сомов для выращивания в прудовых хозяйствах в регионах с умеренным климатом.

Цель и задачи исследования. Цель работы – провести сравнительное испытание отобранных пород (михайловская и таманская) клариевого сома и на их основе получить холодоустойчивую высокопродуктивную гибридную группу для разведения в условиях короткого вегетационного периода в прудовых хозяйствах Курской и Белгородской областей РФ (III и IV рыбоводные зоны РФ).

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Осуществить оценку производителей по экстерьерным и репродуктивным показателям и получить потомство первого и второго поколения;
2. Оценить рыбоводно-биологические показатели молоди родительских линий и гибридного потомства на этапе малькового

подращивания;

3. Определить биологические (молекулярно-генетические, гематологические, биохимические, гистологические) маркеры акклимации и адаптации иммунного ответа у гибридной молоди в условиях выращивания при пониженных температурах (22, 20, 17 и 15°C) и установить оптимальную массу клариевого сома для зарыбления в прудовые хозяйства III и IV рыбоводных зон;
4. Провести сравнительный анализ гибридных потомств первого (F1) и второго (F2) поколений и родительских групп африканского сома по рыбоводно-биологическим и морфометрическим показателям;
5. Разработать рыбоводную инструкцию по оценке продуктивности и технологиям выращивания *Clarias gariepinus* для товарного культивирования в прудовых хозяйствах Курской и Белгородской областей РФ (III и IV рыбоводные зоны РФ).

Научная новизна. Впервые получен гибридный посадочный материал первого и второго поколений клариевого сома путем скрещивания зарегистрированных в Минсельхозе РФ пород михайловская и таманская. С использованием комплекса биомаркеров (молекулярно-генетических, гематологических, биохимических, гистологических) исследован адаптационный потенциал молоди *C. gariepinus* разных размерно-массовых групп к пониженным термальным режимам содержания (25, 22, 20, 17 и 15°C). Проведен отбор гибридных особей *C. gariepinus* устойчивых к нехарактерным термальным режимам выращивания и обладающих высокими продукционными характеристиками. Сформирована база данных морфометрических показателей гибридов первого и второго поколений *C. gariepinus* и их родительских форм. Показана возможность осуществления зарыбления прудовых хозяйств Курской и Белгородской областей гибридным посадочным материалом с конечным выходом товарного сома не менее 75% экз. за 4 мес. выращивания.

Теоретическая и практическая значимость. Проведенные

исследования позволили получить новые знания и расширить научную информацию о биологических и хозяйственных особенностях африканских клариевых сомов двух пород и их гибридного потомства первого и второго поколений. Изучена степень акклиматизации и адаптации клариевого сома гибридных поколений при пониженных температурах в условиях прудовых хозяйств III и IV рыбоводных зон РФ. На основе экспериментальных материалов лабораторно-производственного выращивания сформирована база данных морфометрических промеров, содержащая количественную информацию фенотипических вариаций клариевых сомов (михайловская и таманская) и их гибридов (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621921 Российская Федерация).

Результаты исследования позволяют использовать полученные гибридные популяции африканских клариевых сомов, акклиматизированных к пониженным температурам для выращивания в прудах, рыбоводных участках и индустриальных хозяйствах России. Полученные данные отражены в учебно-методологическом пособии «Методы селекционно-генетических исследований объектов товарного рыбоводства (на примере клариевого сома)» (2025) (Приложение Ж) для бакалавров и магистров направлений 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» и 06.03.01 «Биология», в рамках дисциплин: генетика, селекция и индустриальная аквакультура. Разработанная рыбоводная инструкция выращивания товарных экземпляров африканского клариевого сома *C. gariepinus* в прудах III-IV зон рыбоводства апробирована на рыбоводных предприятиях (ООО «Рыбная ферма»; ООО «Ярославская рыбная ферма»; КФХ Камешкова Е.В.; ООО «Водопад»; ИП Шейхгасанова К.З.; КФХ Попов А.В.; ЗАО «Голубая Нива»; КФХ Макаров В.А.).

Методология и методы исследований. При выполнении работы использовалась общепринятая методология научного познания — наблюдение, сбор и обработка научных фактов, постановка и формулирование научной проблемы, выдвижение и доказательство гипотез и

их экспериментальное подтверждение или опровержение. Основными методами исследования являлись: зоотехнический, физиологический, гематологический, биохимический, морфологический, гистологический, молекулярно-генетический и статистический.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Получение межпородного гибрида африканского клариевого сома F_2 , устойчивого к прудовым температурным режимам выращивания ($t > 21,0^\circ\text{C}$) (III зона рыбоводства).
- Имея широкий диапазон адаптации к температурам (от 21 до 28°C) организм гибридной молоди африканского сома F_2 при содержании в 15°C задействует ряд генов холодоустойчивости, схожих с генами у антарктических рыб *Notothenia corriceps*.
- Гибриды африканского сома F_1 обладают большей продуктивностью (скорость роста малька, выход конечной продукции) по сравнению с породами михайловская и таманская и гибридами F_2 .

Апробация работы. Результаты апробированы и представлены на научных конференциях: Международный научный симпозиум «Достижения зоотехнической науки в решении актуальных задач животноводства и аквакультуры», посвященный 150-летию со дня рождения выдающегося ученого в области зоотехнии Е. Ф. Лискуна (Москва, 2023 г); VI Международная Научно-практическая конференция «Биотехнологии – драйвер развития территорий» (Вологда, 2024), Международная научно-практическая конференция «Здоровое питание 2030: новые технологии, подходы к обеспечению качества и безопасности, подготовка кадров» в рамках Всероссийского форума «Здоровье нации – основа процветания России» (Москва, 2024), Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 90-летию со дня образования Института зоотехнии и биологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева «Зоотехническая и ветеринарная наука – основа инновационного развития животноводства России» (Москва, 2024), НППЗ «Селекционно-генетические

исследования, клеточные технологии и генная инженерия (в области животноводства)» Научно-образовательный центр мирового уровня «Инновационные решения в АПК» Белгородской области (Белгород, 2023, 2024).

Публикации результатов исследования. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 научных трудов, в том числе 10 в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, Минобрнауки России, 1 учебное пособие, 1 – патент (свидетельство).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 153 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 30 рисунков, 28 таблиц, заключения, списка литературы, включающий 178 наименований, в том числе 134 – на иностранном языке и 7 приложений.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ: ФИЗИОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ *CLARIAS GARIEPINUS*

1.1 Африканский клариевый сом *Clarias gariepinus* в индустриальной аквакультуре

Африканский клариевый сом *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) относится к числу наиболее популярных видов рыб, разводимых в коммерческих целях более чем в 50 странах мира, включая страны Африки, Азии, Европы, Северной и Южной Америки (Brummett, 2008). В Россию этот вид был завезён в 70-е годы и с тех пор получил широкое распространение и признание (Власов и др., 2012).

После ограниченных успехов в массовом разведении нильской тиляпии *Oreochromis niloticus* (L.) в Африке в конце 1950-х — начале 1960-х годов (Naylor, 1989), учёные и специалисты по рыбоводству начали совместные поиски альтернативного вида, пригодного для аквакультуры. Африканский сом был выбран в качестве перспективного объекта товарного выращивания благодаря своей высокой устойчивости к условиям среды и возможности контролируемого размножения. Хотя *C. gariepinus* является эндемиком Африки, его коммерческое разведение и научные исследования в области воспроизводства, выращивания и кормления начались только с 1970-х годов (De Kimpe, Micha, 1974, Viveen и др., 1985; Bovendeur, Eding и Henken, 1987). Первые успешные опыты полу-искусственного и искусственного разведения сома в бассейнах и прудах были проведены в Центральноафриканской Республике, Кот-д'Ивуаре, Южной Африке и Нигерии (Hogendoorn, 1979, 1980a, 1980b; Janssen, 1987; De Graaf и Janssen, 1996). В то же время были установлены оптимальные температурные диапазоны для содержания африканского сома — от 25 до 30°C (Hogendoorn et al., 1983), что однозначно подтверждает возможность его круглогодичного выращивания в естественных условиях во всех странах экваториального, субэкваториального

и тропического поясов.

В настоящее время африканский клариевый сом является основным культивируемым видом рыб на африканском континенте. *C. gariepinus* обитает во внутренних водоёмах большей части Африки и разводится в коммерческих целях примерно в 15 африканских странах, включая Нигерию, Замбию, Гану и Южную Африку. Этот вид также является эндемиком стран Малой Азии — Израиля, Сирии и юга (Климук и др., 2024в). В то же время в Юго-Восточной Азии основными объектами культивирования являются другие виды сома, такие как *Clarias macrocephalus*, *C. batrachus* и *Pangassius sutshi*. В отличие от других представителей семейства Clariidae, *C. gariepinus* считается агрессивным инвазивным видом благодаря высокой плодовитости, фенотипической пластичности, быстрому росту, широкой экологической и пищевой нише, а также устойчивости к неблагоприятным гидрохимическим условиям (Bruton, 1986). Именно по этим причинам такие страны, как Индия, запретили интродукцию и промышленное разведение *C. gariepinus* (Dhawan, Kaur, 2001), поскольку нередкими были случаи массового вытеснения африканским сомом других аборигенных видов рыб, вплоть до их полного исчезновения с рынков. Тем не менее, последствия незаконного завоза в Индию и другие страны привели к потенциальным экологическим угрозам, включая снижение биоразнообразия в природных внутренних водоёмах (Singh, 2000), а также сокращение численности ценного вида *C. batrachus* в Бангладеш (Islam et al., 2007). В Таиланде зафиксирована генетическая интрогрессия местного дикого клариевого сома гибридом (*C. gariepinus* × *C. macrocephalus*), попавшим в естественные водоёмы с рыбоводческих хозяйств (Senanan et al., 2004). В начале 1980-х годов *C. gariepinus* был завезён в Юго-Восточную Азию, и с тех пор его культивирование быстро распространилось благодаря более высокой скорости роста по сравнению с местными видами сома. Однако внедрение не принесло полного успеха, поскольку были проигнорированы отдельные социально-экономические аспекты. Например, во Вьетнаме потребители отказались от покупки *C.*

gariepinus из-за его вкусовых качеств и большого размера головы, которая условно не пригодна в пищу (Nguyen et al., 2021).

1.1.1 *C. gariepinus* – перспективный объект товарного рыбоводства в РФ

Для научных исследований *C. gariepinus* был завезён из Африки в Нидерланды в 1977 году. Было установлено, что массовое производство африканского сома может быть рентабельным при использовании систем замкнутого водоснабжения, расположенных в умеренном климатическом поясе. Это способствовало созданию в Нидерландах множества рыбоводных комплексов с установками замкнутого водоснабжения (УЗВ) для выращивания сома (Dijkema, 1992; Eding, Kamstra, 2002). Начиная с 1985 года, благодаря высокой популярности гибридов *Clarias gariepinus* и *Heterobranchus bidorsalis* (другого вида африканского сома), посадочный материал из научно-исследовательских центров Нидерландов был передан в другие европейские страны — Бельгию, Германию, Чешскую Республику, Польшу и Венгрию. Однако крупномасштабное производство африканского сома началось в Венгрии в 1990 году с применением проточных систем, использующих геотермальную воду (Климук и др., 2024в).

В Россию африканский сом, согласно литературным данным, был завезён из Нидерландов в 1993 (по Мельченков и др., 2008), 1994 году (по Александрова, 2014) и 1996 (по Власов и др., 2012) годах. Предполагаемый путь интродукции клариевого сома в Россию представлен на рисунке 1. В Российскую Федерацию *C. gariepinus* был завезен из Нидерландов в рыбоводное хозяйство Новолипецкого металлургического комбината в 1993 г., после чего там была изучена биотехника разведения африканского сома и организовано индустриальное выращивание. Но сейчас хозяйство официально закрыто. Тем не менее, в ряде литературных источников указывается, что особи африканского сома, использующиеся во многих

коммерческих рыбопитомниках сегодня, были получены из популяции 1993 г (Климук и др., 2024в).

В государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, зарегистрированы две породы африканского клариевого сома с 2017 г. «Михайловская» (ООО «ИНАГРОБИО»), выведенный из популяции с хозяйства Ярославской области, но зарегистрирована в Московской области (141100, Московская обл., г. Щелково, ул. Заводская, 22) и с 2019 г. «Таманский» (ООО РЭНТОП-АГРО-5) из хозяйства в Краснодарском крае (353500, Краснодарский край, г. Темрюк, ул. Таманская, д. 5, оф. 31).

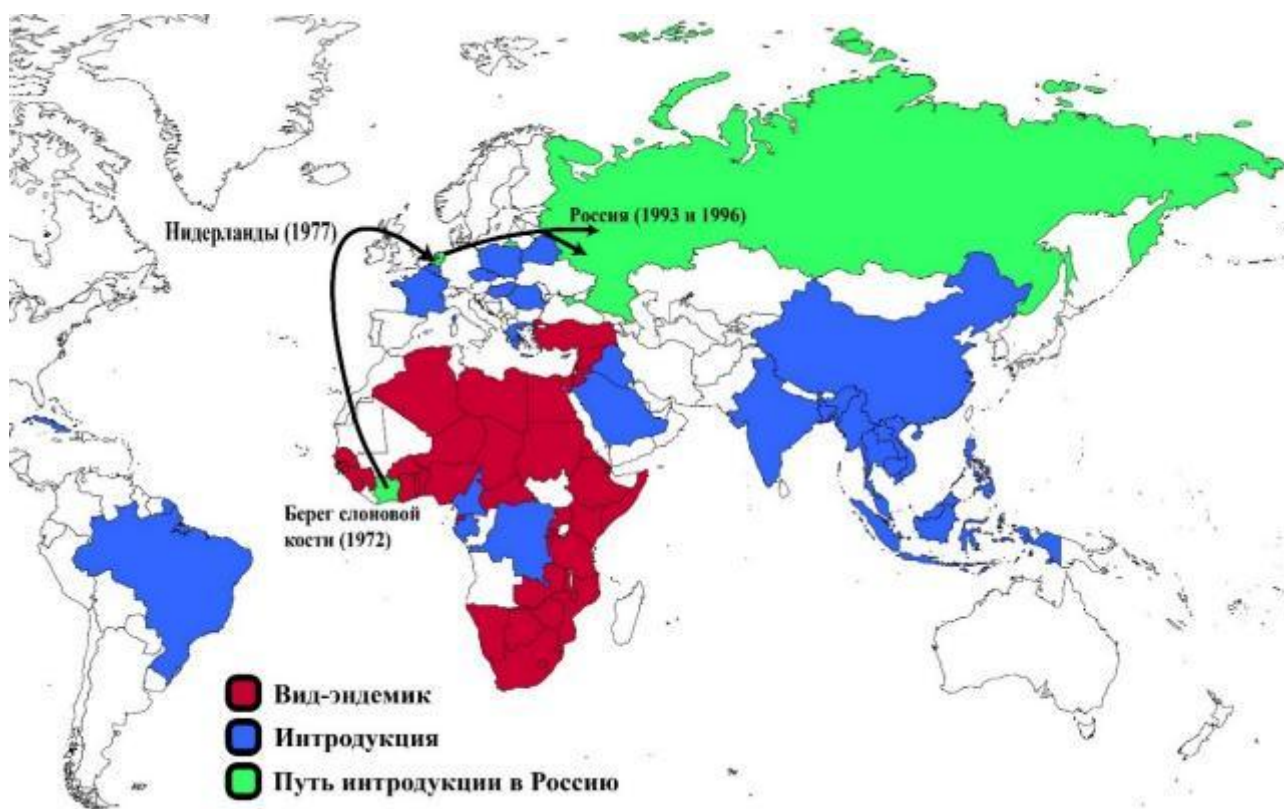


Рисунок 1 – Предполагаемый путь интродукции африканского сома в Россию

Михайловская порода была создана на основе одомашненной формы клариевого сома, завезенного из Нидерландов. Отбор в рыбоводных хозяйствах производили по рыбоводно-биологическим показателям и морфологическим промерам. Порода михайловская имеет отличия в

ростовых показателях личинки и малька в первые 2 месяца выращивания. Самки и самцы отличаются высокими воспроизводительными показателями. Рыбы переносят высокие плотности посадки в системах УЗВ. Основная окраска серая мраморная. Длина тела михайловских сомов средней длины, при этом тело самки более высокое, чем у сомцов. По данным из реестра МСХ михайловская порода африканского сома является обладает диетическим мясом и высоким содержанием протеинов при достаточно низком содержании липидов.

Таманская порода создана на основе особей, сформированных из Индонезийского и Курского стад. Оценку производителей также провели по рыбоводно-биологическим показателям (скорость роста, оплата корма, выход товарной продукции – филе).

Порода таманская характеризуется высоким выходом личинки из икры и высокой степенью выживаемости молоди, а также равномерным ростом потомства. Основная окраска иная (серо-голубая). По сравнению с михайловской породой, тело самки таманской породы средней длины, но тело самца более длинное, с высоким телом. Порода предназначена для производства высококачественных консервов, в том числе для детского и диетического питания, так как содержание белка составляет 16-19% в сочетании с низким содержанием жира 3,2-5,8%, высокое содержание омега-3 жирных кислот.

1.1.2 Автономные системы выращивания – установки замкнутого водоснабжения

Товарная аквакультура в России в основном ориентирована на выращивание хозяйственно ценных видов рыб, таких как лососевые и осетровые, которые ценятся за высокие вкусовые качества, признаваемые потребителем, а также за высокую питательную ценность. Тем не менее, в последние десятилетия активно ведутся разработки в области аквакультуры

сомовых рыб, в особенности с *Clarias gariepinus* (Климук и др., 2024в).

Традиционными отечественными методами культивирования африканского сома являются установки с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ), которые применяются преимущественно в регионах с холодным климатом, начиная с IV рыболовной зоны — Белгородская, Воронежская, Саратовская и Оренбургская области (рисунок 2).

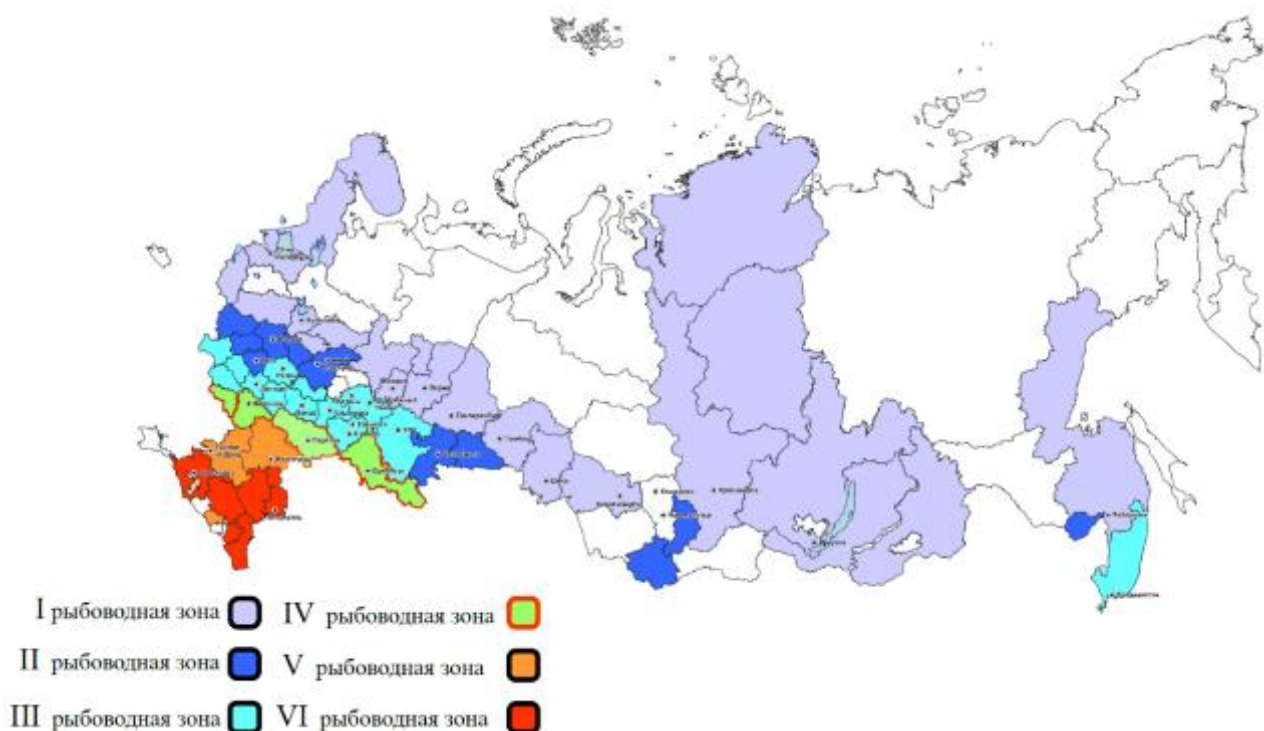


Рисунок 2 – Рыбоводные зоны России (по Привезенцев, 2000)

Интерес рыбоводов в большей степени объясняется высокой скоростью роста клариевого сома, жизнестойкостью и неприхотливостью к гидрохимическим условиям водной среды и концентрации в ней кислорода. Африканский сом пресноводная рыба, что позволяет избежать трудностей в эксплуатации установок с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) при его разведении.

Выращивание африканского сома в УЗВ и прудовых хозяйствах в зависимости от климатических условий регионов можно подразделить на следующие рыболовные зоны (таблица 1).

Таблица 1 – Использование африканского сома как объекта выращивания в УЗВ и открытых водоемах в зависимости от рыбоводных зон

Рыбоводная зона	Кол-во дней в году с t воздуха <15С	Область, край, республика	УЗВ	Открытые водоемы
I	60-75	Южные части Бурятии и Удмуртии, Марий Эл, Красноярский край, южная часть Хабаровского края, Тверская, Ивановская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Псковская области, северная часть Нижегородской и Московской, южная часть Костромской, Иркутской, Ленинградской, Новгородской, Тюменской, Читинской, Ярославской и Свердловской областей	+	-
II	76-90	Северная часть Башкортостана и Татарстана, Алтайский и Хабаровский края. Еврейская автономная область. Республика Хакасия, Владимирская, Калужская, Курганская, Калининградская, Рязанская, Смоленская, Тульская, Челябинская области, южная часть Московской и Нижегородской областей.	+	-
III	91-105	Южная часть Башкортостана и Татарстана, Мордовии, южная часть Приморского края. Курская, Самарская, Орловская, Пензенская, Тамбовская. Ульяновская области, северная часть Карагандинской, Кустанайской, южная часть Рязанской областей.	+	+
IV	106-120	Белгородская, Воронежская, Оренбургская, Саратовская, северная часть Кустанайской областей	+	+
V	121-135	Кабардино-Балкария, Волгоградская, Ростовская области	+	+
VI	136-150	Дагестан, Калмыкия, Чечня, Ингушетия, Краснодарский и Ставропольский края, Астраханская область	+	+

Исходя из данных таблицы, выращивание африканского сома в УЗВ возможно осуществлять повсеместно, независимо от климатических условий, тем не менее, организационные работы по выращиванию этого объекта в открытых водоемах возможно проводить начиная с III зоны рыбоводства и только в вегетационный период.

1.1.3 Прудовые хозяйства, специализирующиеся на выращивании *C. gariepinus*

Благодаря ряду полезных качеств, таких как высокая скорость роста, неприхотливость к гидрохимическому составу водной среды и высокой жизнестойкости *C. gariepinus* может быть успешно внедрен в прудовую аквакультуру в странах с умеренным климатом (Мельченков и др., 2008). В России *C. gariepinus* выращивается традиционно в системе прудового и садкового рыбоводства в южных регионах страны (V-VI рыбоводные зоны). Прудовое выращивание африканских сомов становится возможным только при нагульном выращивании, где получение рыбопосадочного материала осуществляется в УЗВ, а товарной рыбы – в прудах в летний сезон.

В южных регионах России *C. gariepinus* разводится в прудовых и садковых хозяйствах (VI рыбоводная зона — Астраханская область и Краснодарский край, где средние температурные режимы в нагульный период составляют 25,0–28,7 °С) (Булавин, 2021; Денисенко, 2013). Таким образом, благодаря развитию рыбохозяйственной практики, африканский сом охватывает широкий ареал обитания, не ограниченный термальными условиями, а обеспеченной высокой адаптивностью рыбоводных систем. В связи с этим товарная аквакультура сома считается одним из популярных и экономически выгодных направлений в бизнесе.

Благодаря успешным рыбоводческим мероприятиям, были созданы методы выращивания африканского сома с использованием проточных, геотермальных или частично замкнутых систем водоснабжения в странах с умеренным климатом. Эти методы широко применяются при разведении африканского сома в Восточной Европе. Рыбу содержат в прудах либо в прямоугольных или круглых резервуарах, выполненных из бетона или пластика. В качестве источника водоснабжения для прудов и резервуаров используется вода с температурой 23–35 °С. Интенсивное прудовое выращивание африканского сома также осуществляется в небольших

земляных прудах. При зарыблении в июне рыбой массой 500–800 г при плотности посадки 1,0–1,5 особи/м³, за 3,0–3,5 месяца она достигает массы 1,5–2,0 кг. В таких прудах рыбопродуктивность может достигать 30 тонн/га. Пастбищная и прудовая аквакультура клариевого сома в последние десятилетия демонстрирует положительные результаты на юге России, в V и VI рыбоводных зонах (Климук и др., 2024в). В этом случае рыбу массой 200–300 г зарыбляют в крупные карповые пруды при низкой плотности посадки — 100–300 особей/га. Без дополнительного кормления за 3,0–3,5 месяца рыбы достигают массы 1,5–2,0 кг, питаясь исключительно естественными кормовыми гидробионтами: зоопланктоном, насекомыми, головастиками, лягушками и некоторыми дикими видами рыб. Вылов проводится при температуре воды от 20,0 до 16,0 °С.

В Центральном федеральном округе Российской Федерации имеется достаточно развитая рыбохозяйственная инфраструктура, представленная реками Волга, Дон, Днепр и их притоками. В то же время, ЦФО располагает наименьшим рыбохозяйственным фондом (9 250,0 км² занято прудами, озерами и искусственными водоемами) среди федеральных округов, и занимает 5-е место по общему объему уловов водных биологических ресурсов, включая товарное рыбоводство в федеральных округах Российской Федерации, и 4-е место по производству товарной продукции (Стратегия социально-экономического развития ЦФО на период до 2020 года ...). Основными представителями объектов аквакультуры ЦФО, выращиваемыми в естественных водоемах, являются растительноядные виды рыб, такие как карповые (толстолобик, сазан, белый амур), а также осетровые виды рыб, форель.

Производство аквакультуры в 2023 г. в данном округе составило 32,5 тыс. тонн согласно анализу роста производства аквакультуры на 2024 г. Несмотря на стабильную тенденцию развития рыбоводства в 2024 г., она остановилась. По мнению председателя правления ассоциации "Росрыбхоз" Василия Глущенко, на данную ситуацию в первую очередь повлиял

природный фактор, что спровоцировало развитие болезней рыб (Карабут, 2025).

Вторым ограничивающим фактором развития товарной аквакультуры ЦФО является достаточно низкая рентабельность прудовых хозяйств (до 9%). Согласно статистическим данным Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии по итогам 2021 г., были признаны убыточными 101 рыбоводное хозяйство, т. е. 40,4% от общего числа (Статистические сведения по рыбной промышленности России, ВНИРО). Несмотря на достаточно активную государственную поддержку, оказываемую в рамках госпрограммы РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2015–2021 гг.», которая должна создавать условия для развития интеграционных процессов в рыбоводстве и способствовать повышению экономической эффективности, рыбоводные хозяйства остаются в неблагоприятной ситуации. Для решения данной проблемы необходимо повышение эффективности производства и реализация продукции товарной аквакультуры с помощью внедрения инновационных методов селекции или перехода на выращивание новых видов рыб.

Одним из решений данных проблем является внедрение популярного объекта аквакультуры, а именно африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*), культивируемым в странах Азии, Африки, Европы и Южной Америки (Libisch et al., 2025). Мясо данного вида отличается диетическими свойствами, низким содержанием костей и высокой степенью технологической переработки, не требующей значительных энергетических и трудовых затрат. В реестре пород сельскохозяйственных животных, утверждённом Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, зарегистрированы две породы африканского клариевого сома (*C. gariepinus*) – михайловская (пат. №9064) и таманская (пат. №10639). Таманская порода успешно культивируется в прудовых хозяйствах Краснодарского края

благодаря повышенной жизнестойкости. В то же время михайловская порода отличается максимальным выходом товарной продукции, что делает её особенно перспективной для переработки. Тем не менее, наблюдаются затруднения при использовании данных пород в условиях прудовой аквакультуры, как из-за отсутствия адаптированности к температурному режиму водоема, так и недостаточным показателям продуктивности, по сравнению с результатами африканских рыбоводов (Isyagi et al., 2009; 35. Toko et al., 2007).

1.2 Зоотехнические работы с африканским клариевым сомом в России и за рубежом

Аквакультурное выращивание клариевых сомов практикуется в более 55 странах мира (Chandra Segaran et al., 2023; Sanda et al., 2024). Широкую известность этот вид приобрел благодаря выведенной высокопродуктивной линии в Бельгии и Нидерландах, известной как «голландский клариас» и в дальнейшем переданной на фермы в Центральную Африканскую Республику, Южную Африку, Кот-д'Ивуар и Нигерию (Holčík, 1991; Huisman, Richter, 1987; Roodt-Wilding et al., 2010). Рыбохозяйственное освоение африканского сома в России было начато с 90-х годов XX века посредством ввоза рыб из Голландии, а с 2017 была получена порода михайловская (пат. №9064) и в 2019 г. создана породная группа таманская (пат. №10639) (Климук и др., 2025б).

Работы по гибридизации африканского сома и его выращивание в Азии оказались более успешными благодаря наличию в этих регионах нативных видов клариевых сомов. Были получены удачные гибриды от скрещивания *C. macrocephalus* и *C. batrachus* (Boonbrahm et al., 1977), *C. batrachus* (или *C. macrocephalus*) с *Pangasius sutshi* (Tarnchalanukit, 1986) и *C. batrachus* × *Heteropneustes fossilis* (Mukhopadathy, Dehadrai, 1987). В июне 1988 г. специалисты Департамента рыболовства Таиланда провели

искусственное скрещивание самки *C. macrocephalus* с самцом *C. gariepinus*. Полученный гибрид отличался повышенной скоростью роста и устойчивостью к заболеваниям по сравнению с другими гибридами и вскоре вытеснил *C. macrocephalus* и *C. batrachus* с рыбных рынков Таиланда и Вьетнама (Tonguthai et al., 1993). В Африке также были проведены успешные испытания по скрещиванию *C. gariepinus* и *Heterobranchus fossilis* (Hecht, Lublinkhof, 1985) (Климук и др., 2025б).

1.2.1 Основные параметры оценки особей

Эффективность устойчивого производства в аквакультуре ясно выражена в сохранении и восстановлении рыбных запасов, создании концепций охраны и сохранения природных популяций рыб разных видов (Андрияшева, 2011). В условиях индустриальной аквакультуры повышение продуктивности рыб основывается на достижении хозяйственно выгодных результатов при скрещиваниях, что позволяет получать формы с желаемыми признаками и устойчивыми биологическими характеристиками, обеспечивая тем самым закрепление полезных качеств в производственных линиях (пат. №10639) (Климук и др., 2025б).

Известно, что морфометрические признаки обладают высокой пластичностью и могут изменяться под влиянием внешних факторов, таких как доступность корма, температура воды, условия среды обитания и другие (Fagbuaro et al., 2015). Например, в пяти популяциях *C. gariepinus*, обитающих в реках Турции и соответствующих ареалу вида, были выявлены значительные фенотипические различия (Turan et al., 2005). Анализ главных компонент (РСА) показал, что наиболее информативными дифференцирующими признаками у *C. gariepinus* являются морфологические параметры, связанные с головным отделом: длина рыла, расстояние до затылочной впадины, её длина и ширина. На основе морфометрических данных был описан новый вид — *Clarias intermedius* — из Центрального

Калимантана (Индонезия) (Teugels et al., 2001). Оценка экстерьерных показателей *C. gariepinus* проводится, в первую очередь, в производственных целях для идентификации чистых линий на рыбоводных хозяйствах и рынках Африки и других стран-производителей, поскольку наряду с чистыми линиями широко культивируются межвидовые, внутривидовые и межродовые гибриды рода *Clarias* (Fagbuafo et al., 2015). К таким видам относятся, например, *Clarias anguillaris*, *C. macrocephalus*, а также представители рода *Heterobranchus*. Морфометрический анализ также используется в научных исследованиях, в частности, для выявления триплоидных особей *C. gariepinus* (Normala et al., 2017). Результаты этого исследования показали, что увеличение числа хромосом, вероятно, не оказывает существенного влияния на внешнюю морфологию рыб, тогда как гематологический анализ (в частности, изменение формы эритроцитов) оказался более информативным и менее трудоемким. В то же время, у гибридных форм, имеющих различия в структуре хромосом, наблюдаются заметные изменения морфологических характеристик (Dunham, Masser, 2012). Например, у гибридов канального сома и синего сома *Ictalurus punctatus* × *Ictalurus furcatus* (Jawad et al., 2021). Однако дальнейшее развитие программы по гибридизации этих видов было свернуто из-за репродуктивной изоляции между ними (Dunham, Liu, 2003; Green, Rawles, 2010). В то же время, межродовое скрещивание *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) и *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) оказалось более продуктивным (Legendre et al., 1992). Ключевым морфологическим отличием между *C. gariepinus* и *H. longifilis* является наличие у последнего крупного жирового плавника, начинающегося сразу за спинным плавником и простирающегося до основания хвостового плавника. Гибридные особи демонстрировали промежуточную морфологию, при этом жировой плавник у них был примерно вдвое меньше, чем у *H. longifilis*. Авторы предположили, что в данном случае в результате скрещивания образуются «истинные» гибриды, сочетающие генетический материал обоих родительских видов. (пат.

1.2.2 Получение гибридных особей и проблема инбридинга

В мировой практике гибридизация африканского сома рассматривается как один из эффективных способов создания новых линий рыб с улучшенными характеристиками. В 1988 г. в Таиланде было проведено скрещивание *C. gariepinus* с местным видом сома *C. microstomus*, в результате которого был получен гибрид, сочетающий положительные признаки обоих родителей — повышенную устойчивость к заболеваниям и более высокие темпы роста (Abit et al., 2023). Аналогичные полезные свойства проявляются и у других межвидовых гибридов: *Clarias batrachus* и *C. gariepinus* (Rahman et al., 1995); *C. macrocephalus* и *C. gariepinus* (Dedukh et al., 2024); *C. fuscus* и *C. gariepinus* (Wembiao et al., 1988). Скрещивание линий африканских сомов, происходящих из различных экологических зон, может оказывать существенное влияние на свойства гибридного потомства. Такое межвидовое и межлинейное скрещивание способно повышать репродуктивные качества потомства за счёт увеличения гетерозиготности, что, в свою очередь, снижает проявление неблагоприятных рецессивных признаков. Основы оценки особей в аквакультуре базируются на анализе ключевых фенотипических и генетических вариаций изучаемых объектов, включая рыбоводно-биологические показатели роста и развития гидробионтов (Власов и др., 2012; Таразевич, 2022). У гибридов благодаря явлению гетерозиса могут проявляться различные преимущества, такие как более высокие показатели роста, улучшенная плодовитость, увеличенная жизнестойкость и устойчивость к болезням.

В начале 2000-х гг. ученые-рыбоводы из Таиланда успешно провели скрещивание между большеголовым клариевым сомом (*Clarias macrocephalus*) и африканским клариевым сомом (*C. gariepinus*). Гибридное потомство первого поколения (F₁) демонстрировало быструю скорость роста

и обладало высокой устойчивостью к заболеваниям, что привело к распространению этих гибридов и в настоящее время гибридные особи составляют более 90% производства сома в Таиланде (Na-Nakorn et al., 2004a; Koolboon et al., 2014) (пат. №10639) (Климук и др., 2025б).

Частым явлением в рыбохозяйственных комплексах является снижение продуктивности и жизнестойкости выращиваемых рыб. Устойчивость и эффективность потомства при скрещивании африканского сома во многом зависят от разнообразия исходных форм, используемых в производстве. Разнообразие родительских пар способствует повышению устойчивости молоди к неблагоприятным условиям и стрессовым факторам среды. Гибриды, полученные от скрещивания форм с заметными фенотипическими и биологическими различиями, чаще демонстрируют эффект гибридной силы, проявляющийся в более интенсивном росте, лучшем усвоении корма и повышенной плодовитости (Власов, Маслова, 2015). В линиях, используемых индустриальными хозяйствами, неизбежен инбридинг из-за скрещивания между генетически родственными особями (Tine et al., 2022). В промышленных хозяйствах часто практикуется использование близкородственных форм, что со временем приводит к снижению общей жизнеспособности. Повторное использование одних и тех же производителей схожей биологической истории ведёт к сужению производственного потенциала. Постоянное использование однотипных групп рыб может приводить к снижению показателей продуктивности (Wachirachaikarn et al., 2009). При близкородственном скрещивании у потомства нередко наблюдается замедление роста, снижение выживаемости и репродуктивных показателей, что отрицательно сказывается на эффективности производства (Koolboon et al., 2014; Tine et al., 2022). Хотя скрещивание разных производственных линий может повысить продуктивность, оно сопряжено и с рисками — в отдельных случаях отмечается снижение качества половых продуктов, пониженная воспроизводительная способность или стерильность потомства (Na-Nakorn et al., 2004). Кроме того, введение новых форм из

других регионов не всегда приводит к ожидаемому приросту эффективности: если производители не адаптированы к местным условиям, это может снизить устойчивость молоди к заболеваниям и темпы роста. Например, в Таиланде скрещивание диких и одомашненных форм африканского сома привело к аутбредной депрессии — явлению, при котором потомство показывает более низкие производственные характеристики, что в итоге снизило общую эффективность выращивания (Patta et al., 2024). Это подчеркивает важность тщательной оценки родительских форм для обеспечения стабильной и высокой продуктивности в аквакультуре (пат. №10639) (Климук и др., 2025б).

С учётом негативного опыта, связанного с использованием североафриканских линий сома с ограниченной продуктивностью в тайских хозяйствах (Таиланд) (Wachirachaikarn et al., 2009), представляется целесообразным внедрение систематического подхода к оценке производителей и организации скрещивания между разными линиями африканского сома в отечественных рыбоводных предприятиях, как это ранее рекомендовалось при работе с другими объектами аквакультуры, как было рекомендовано в работе с *Spanish killifish* (Schonhuth et al., 2003). Положительные результаты наблюдались при скрещивании разнородных производственных групп *Penaeus stylirostris*, что способствовало росту продуктивности за счёт эффекта гибридной силы и восстановления жизнеспособности первого поколения от последствий инбридинга (Goyard et al., 2008). Исследования на популяциях *Poecilia reticulata* показали, что для достижения высокой эффективности скрещивания целесообразно использовать формы, существенно различающиеся по биологическим и фенотипическим признакам, что может быть оценено по уровню их различий на основе объективных молекулярных показателей (Shikano, Taniguchi, 2002).

1.3 Физиолого-экологические особенности культивирования африканского клариевого сома *Clarias gariepinus*

Температура водной среды представляет собой ключевой фактор, влияющий на все этапы жизненного цикла пойкилотермных животных. В настоящее время многие эколого-физиологические и поведенческие аспекты температурной адаптации у гидробионтов остаются недостаточно изученными, особенно в отношении промышленных видов рыб. *Clarias gariepinus* — это теплолюбивый пресноводный вид, который входит в число основных объектов товарного рыбоводства в тропических и субтропических регионах (Adewolu et al., 2008). Традиционно его выращивают при температуре от 28,0 до 30,0 °C. Клариевый сом имеет высокую экономическую значимость для стран Африки. Первые упоминания о перспективах промышленного разведения клариевых сомов появились в научных публикациях 1970-х годов Южной Африке – в Конго и Кот-д’Ивуаре (Seebens et al., 2017) (Климук и др., 2024в).

Исследования по определению верхнего и нижнего пределов температурной выносливости африканского сома *C. gariepinus* проводились преимущественно с целью стандартизации промышленного выращивания и повышения эффективности культивирования на местных рыбоводных фермах. Возрастные особенности термальных оптимумов, а также значения верхней и нижней летальных температур, как правило, изучались только для отдельных стадий развития или кратковременных периодов онтогенеза клариевых сомов (Olaniyi, Omitogun, 2014).

Термальный оптимум в общем понимании описывается как видоспецифичный диапазон температур, в пределах которого все жизненные процессы в организме рыб протекают в нормальном режиме (Голованов, 1996). В рамках этого диапазона существуют определённые точки, при которых достигается максимальная эффективность отдельных процессов – таких как рост, накопление массы или потребление корма. Эти точки

соответствуют конечным избираемым температурам (ОИТ), или так называемым температурным преферендумам (Голованов, 2013а). Явление термоизбирания характерно для всех видов рыб (Голованов, 2013б). Границы толерантности, напротив, определяются у рыб согласно прекращению (остановке) какого-либо из процессов под действием критических температур. В отличие от оптимума, границы толерантности у рыб определяются по прекращению или остановке какого-либо физиологического процесса под воздействием экстремальных температур. Наиболее показательным критерием толерантности у рыб считается их выживаемость (или уровень смертности). При достижении 100% гибели особей можно констатировать установление верхнего или нижнего предела температурной устойчивости организма. Субоптимальная зона (зона пессимума) — это температурный диапазон, прилегающий к критическим границам, в котором процессы жизнедеятельности угнетаются, но не приводят к летальному исходу.

При анализе термальных диапазонов жизнедеятельности важно учитывать, что на каждом этапе индивидуального развития у рыб формируются свои физиологические нормы, включая различную чувствительность к абиотическим условиям среды. В связи с этим целесообразно детально изучить влияние температуры водной среды на каждом этапе развития *Clarias gariepinus*. 2017) (Климук и др., 2024в).

1.3.1 Влияние температуры на инкубацию икры и эмбриогенез *C. gariepinus*

Эмбриональное развитие представляет собой критический этап в жизненном цикле рыб, характеризующийся высокой чувствительностью икры к внешним факторам среды, что проявляется в значительной смертности эмбрионов на ранних стадиях онтогенеза. В исследовании W. A. Olaniyi и O. G. Omitogun (2014) были изучены и описаны фазы развития *C.*

gariepinus – ранние, постэмбриональные и личиночные. В ходе эксперимента развитие икры осуществлялось при температуре воды $28,5 \pm 0,5$ °C, а выживаемость достигла 85% через 17 часов после оплодотворения. Этот показатель мы рассматриваем как физиологический оптимум для данного вида (таблица 2).

Таблица 2 – Эколого-физиологические критерии выживаемости икры *Clarias gariepinus*

Физиологический критерий	Термальный диапазон, °C					Источник
	Оптимум	ОИТ	Порог жизнедеятельности		Продолжительность опыта, ч	
			Верхний	Нижний		
Выживаемость	28,5±0,5	-	-	-	17	Olaniyi, Omitogun, 2014
Выживаемость	20,0-35,0	30,0	-	15,0	62	Haylor, Mollah, 1996
Выживаемость	22,9-30,3	28,0	36,0	15,4	50	Prokešová et al., 2015

В исследовании G. S. Haylor и M. F. A. Mollah (1996) изучалось влияние постоянных (константных) температурных режимов (15, 20, 25, 30 и 35,0 °C) на эмбриогенез *Clarias gariepinus*. Было установлено, что скорость вылупления личинок существенно возрастает при 30,0 °C, что указывает на определение окончательно избираемой температуры для икры, а нижней границей жизнедеятельности считается 15,0 °C. Следует отметить, что развитие икры от момента оплодотворения до вылупления проводилось в строго стабильных температурных условиях (Климук и др., 2024в).

М. Prokešová с коллегами (2015) исследовали влияние 33 различных температур в диапазоне от 17,4 до 35,6 °C на ранние стадии развития сомов. Было показано, что онтогенез прекращается при температуре 15,4 °C, что хорошо согласуется с данными G. S. Haylor и M. F. A. Mollah. Также подтверждена чёткая зависимость ключевых показателей онтогенеза — выживаемости, скорости вылупления и размера личинок от температуры

водной среды. Согласно результатам по выживаемости, пессимальная зона для икры находится в интервале от 18,9 до 33,2 °С, при этом термальный оптимум лежит в диапазоне 22,9–30,3 °С, что типично для теплолюбивых видов рыб. Верхний предел жизнедеятельности, то есть летальная температура, составляет 35,1 °С, а нижний – ниже 17,0 °С. Следует отметить, что процесс онтогенеза, предположительно, останавливается при 15,4 °С, а гибель икры наступает при дальнейшем снижении температуры ещё на 1 °С.

Схематичное отображение полученных данных о термальных диапазонах для икры, взятых из литературных источников, представлено на рисунке 3.

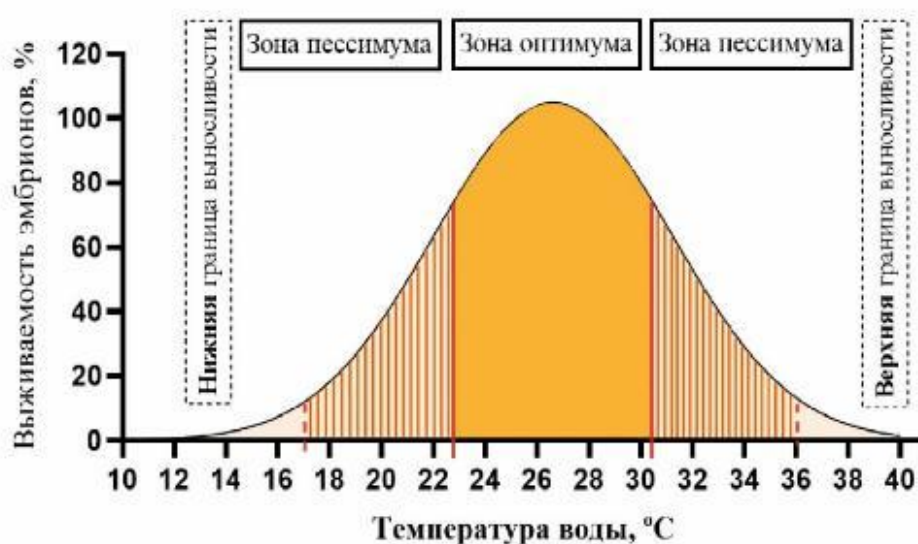


Рисунок 3 – Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны для икры *Clarias gariepinus* согласно работам Olaniyi, Omitogun (2014), Haylor, Mollah (1996) и Prokešová с коллегами (2015)

Таким образом, икру *C. gariepinus* можно успешно культивировать в температурном диапазоне от 23,0 до 30,3 °С, при котором вероятность вылупления достигает 80% — показатель, соответствующий зоне оптимума. Температурные интервалы от 17,0 до 23,0 °С и от 30,3 до 36,0 °С относятся к субоптимальным зонам, где вероятность вылупления личинок не превышает 65%, с учётом постепенного снижения выживаемости в зависимости от продолжительности пребывания икры в неблагоприятных температурных

условиях. Нижняя граница жизнедеятельности икры *C. gariepinus*, при которой вероятность вылупления составляет менее 10%, находится на уровне 17,0 °C и ниже, а верхняя граница — 36,0 °C (Климук и др., 2024в).

1.3.2 Воздействие температур на жизнедеятельность личинок *C. gariepinus*

Переход личинок от эндогенного (желточного) к экзогенному (внешнему) питанию обуславливает их повышенную чувствительность к внешним абиотическим факторам, что связано с критической перестройкой физиологических процессов в организме (Озернюк, 2011). Температура, как и на стадии эмбриогенеза, оказывает значительное влияние на личинок, вызывая реакцию в виде снижения выживаемости, неоднородности в темпах развития и различий в скорости перехода от внутреннего к внешнему питанию.

Выживаемость постличиночных особей африканских сомов была исследована в эксперименте M Prokešová с коллегами (2015) в термальном диапазоне от 17,4 до 35,6°C. Установлено, что оптимальный температурный диапазон для выращивания личинок полностью совпадает с термальным оптимумом для икры (таблица 3). При этом окончательно избираемая температура (ОИТ) для личинок составляет 26,0 °C (выживаемость при этой температуре превышает 50%), а при 31,0 °C выживаемость снижается до 50% — что на 2,0 °C ниже ОИТ, установленной для икры. Верхний и нижний пороги температурной чувствительности для личинок составляют 33,2 и 18,9 °C соответственно, что на 2,8 °C выше и на 3,5 °C ниже по сравнению с ранее определёнными границами для икры.

Таблица 3 – Эколого-физиологические критерии выживаемости личинок *Clarias gariepinus*

Физиологический критерий	Термальный диапазон, °C					Источник
	Оптимум	ОИТ	Порог жизнедеятельности		Продолжительность опыта, ч	
			Верхний	Нижний		
Выживаемость	23,0-31,0	26,0	33,2	18,9	50	Prokešová et al., 2015
Выживаемость	-	25,0	-	5	-	Hoffman et al., 1991
Выживаемость	-	25,0	-	10	-	

В другом исследовании L. C. Hoffman с коллегами (1991) изучали влияние только пониженных температур на пятисуточных личинок *C. gariepinus*. Было установлено, что способность к адаптации имеет важное значение для устойчивости личинок к несвойственным температурным условиям (Климук и др., 2024в).

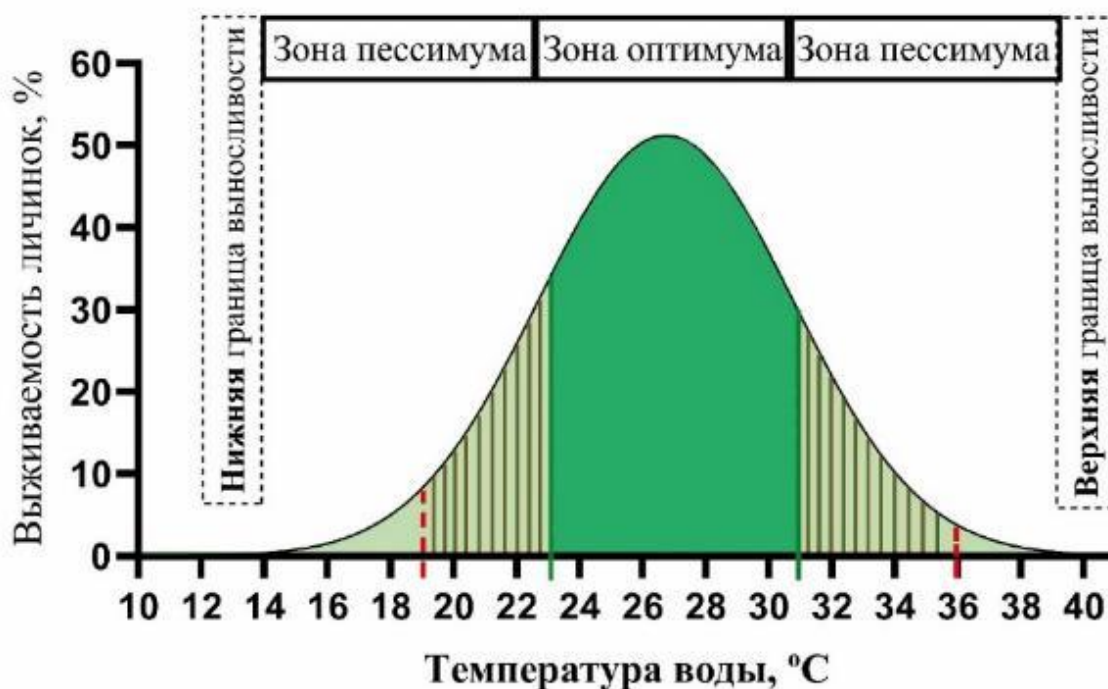


Рисунок 4 – Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны для личинок *Clarias gariepinus*

Так, при снижении температуры с 25,0 до 5,0 °C со скоростью 1,67 °C/ч

нижней границей жизнедеятельности является 5,0 °С, при которой гибель личинок наступает уже в первый день (на 0-е сутки). В то же время, при постепенном понижении температуры с 25,0 до 10,0 °С со скоростью 1,0 °С/ч личинки способны выживать при 10,0 °С, однако не более 4 суток.

Таким образом, зона оптимума для выращивания личинок *C. gariepinus* составляет от 23,0 до 31,0 °С (выживаемость до 60%), а субоптимальные зоны располагаются в диапазонах от 19,0 до 23,0 °С и от 31,0 до 36,0 °С, где выживаемость не превышает 40% (рисунок 4). Летальные температуры в личиночный период составляют 36,0 °С (верхняя граница) и 19,0 °С (нижняя граница), при которых выживаемость снижается до 10%. Как и при инкубации икры, при содержании личинок в условиях неблагоприятных температур необходимо учитывать продолжительность воздействия, а также скорость понижения или повышения температуры. При постепенном снижении температуры отмечался эффект акклимации личинок, сопровождавшийся повышением их устойчивости к сублетальным температурным условиям, что может быть учтено при транспортировке или пересадке молоди.

1.3.3 Термальные диапазоны культивирования молоди африканских сомов

Анализ экологических параметров выращивания молоди — включая зоны оптимума, субоптимальные диапазоны и критические пороги жизнедеятельности показывает, что с возрастом рыбы её устойчивость к несвойственным температурным условиям повышается. Таким образом, у мальков отмечается смещение границ температурной толерантности в сторону как более высоких, так и более низких температур (табл. 4, рис. 5).

Таблица 4 – Эколого-физиологические критерии выживаемости молоди *Clarias gariepinus*

Физиологический критерий	Термальный режим, °C					Источник
	Оптимум	ОИТ	Порог жизнедеятельности		Продолжительность опыта, сут	
			Верхний	Нижний		
Выживаемость	26,0	26,6	40,0	-	56	Ogunji, Awoke, 2017
	26,0-28,0	28,0	-	12,0	75	Любомирова и др., 2019
	25,0-30,0	-	-	14,0	97	Денисенко, 2013
	27,0	25,0	-	10,0	11	Hoffman et al., 1991

Молодь африканских сомов в исследовании Ogunji и Awoke (2017) содержалась в лаборатории, на открытом воздухе и в теплице при средних температурах 26,53, 26,06 и 31,52 °C соответственно. Окончательно избираемая температура (ОИТ) для сеголетков составила 26,0 °C, что сопровождалось максимальной скоростью роста. При повышении температуры воды до 40,0 °C в условиях теплицы сеголетки погибли. В работе Любомировой с соавторами (2019) ОИТ для сеголетков определена как 28,0 °C, что соответствует наибольшему среднесуточному приросту рыб по сравнению с режимами при 22,0 и 32,0 °C в ходе 75-суточного эксперимента. Выживаемость сеголетков африканского сома в условиях промышленной садковой аквакультуры была изучена О.С. Денисенко (2013) в русловых водоемах. В 97-суточном опыте молодь выращивали при среднемесячных температурах в летне-осенний период: 21,0, 25,0 и 17,0 °C соответственно. По завершении нагульного периода выживаемость рыб при облове составила от 87% до 97%. Культивирование сома было завершено при снижении температуры воды до 14,0 °C. 2017) (Климук и др., 2024в).

Влияние пониженных температур также изучалось в работе Хоффмана

с коллегами (1991) на 21-суточных особях *C. gariepinus*. ОИТ характеризовалась выживаемостью 96,8% при температуре 25,0 °С. При постепенном снижении температуры с 25,0 до 15,0 °С (со скоростью 0,21 °С/ч) выживаемость молоди за 11 суток составила 98,2%. При дальнейшем понижении температуры до 10,0 °С с той же скоростью к 10-м суткам выживаемость снизилась до 14,3%, а на 11-е сутки все особи погибли, что указывает на нижнюю границу толерантности на уровне 10,0 °С. Расширение диапазона температурной толерантности у молоди сомов по сравнению с ранними стадиями развития (икра, постличинка) схематически отражено на рисунке 5.

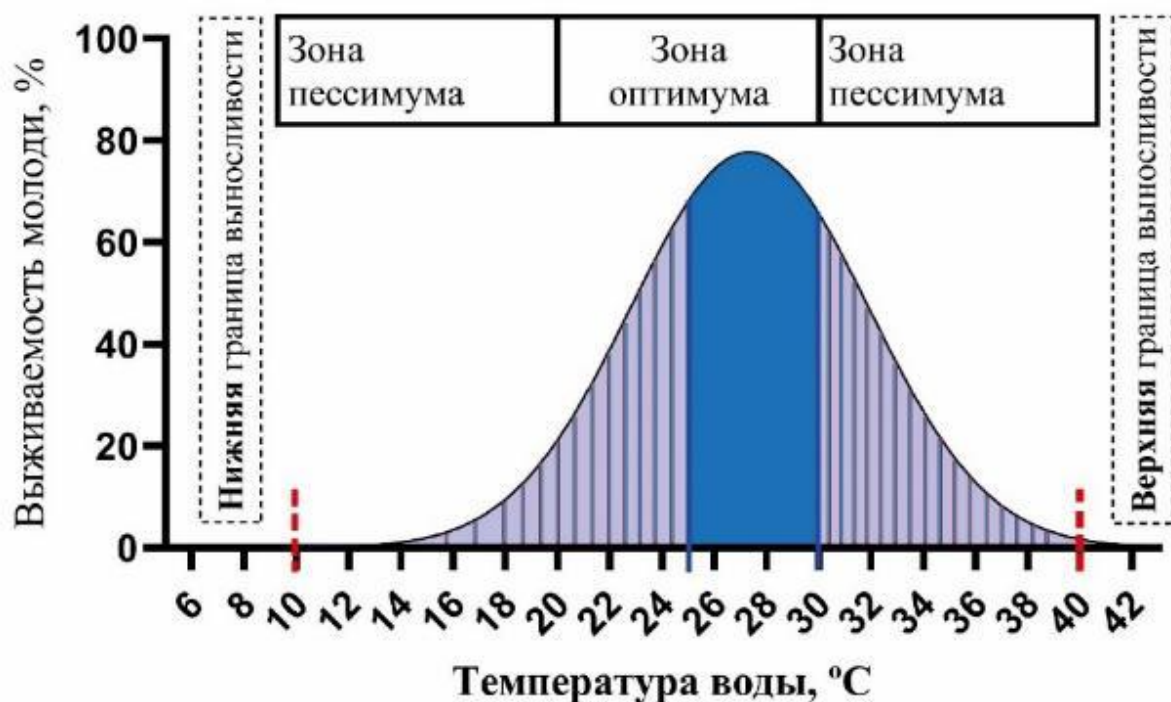


Рисунок 5 – Оптимальный и пессимальный термальные диапазоны у молоди *Clarias gariepinus* согласно работам

Как видно из представленных данных, с ходом роста и развития молоди *Clarias gariepinus* зоны термальной толерантности расширяются. Оптимальный диапазон температур для выращивания молоди составляет от 25,0 до 30,0 °С (выживаемость до 80%), что на 2,0 °С выше по сравнению с температурными требованиями для икры и личинок (23,0 °С). Нижняя

субоптимальная зона у молоди шире, чем у ранних стадий развития (икра и личинки — 17,0 и 19,0 °C соответственно), и охватывает диапазон от 10,0 до 25,0 °C (выживаемость от 10 до 60%). Верхняя субоптимальная зона лежит в интервале от 30,0 до 40,0 °C (выживаемость от 10 до 60%). Нижняя граница жизнедеятельности молоди определена на уровне 10,0 °C, а верхняя — 40,0 °C и выше. 2017) (Климук и др., 2024в).

1.3.4 Зависимость репродуктивных функций половозрелых особей *C. gariepinus* от температуры среды

Естественное воспроизводство африканских сомов регулируется рядом абиотических факторов, к которым относятся температура водной среды, фотопериод и уровень воды в местах нереста (Mylonasa et al., 2010). При этом самки сомов подвержены термической регуляции: развитие их ооцитов замедляется при снижении температуры ниже 22,0 °C. В отличие от самок, процесс сперматогенеза у самцов не зависит от температурных условий; семенники полностью формируются в возрасте от 8 до 12 месяцев, когда масса рыбы достигает примерно 1200 г. Важным физиологическим показателем при содержании половозрелых клариевых сомов в промышленных хозяйствах является состояние и развитие гонад. Установлено, что оптимальный температурный режим для содержания производителей составляет 25,0–27,0 °C, что обеспечивает нормальное развитие гонад в течение всего года. Экологическая стимуляция для получения половых продуктов у сомов является распространённой практикой. За 5 часов до проведения гипофизарных инъекций температуру воды повышают с 25,0 до 28,0 °C, после чего производителей содержат при температуре 28,0 °C и выше (Tkacheva et al., 2020).

С учётом сложностей воссоздания естественных условий, благоприятных для нереста сомов, в индустриальной аквакультуре субтропических и умеренных зон в рыбоводниках и фермах с системами

УЗВ традиционно применяют препараты, стимулирующие овогенез и сперматогенез. Наиболее распространённый метод индуцирования окончательного созревания икры у африканского сома — инъекция самкам гормонов или гипофиза (El-Hawarrya et al., 2016).

В период созревания икры, запускаемого введением инъекции, самок необходимо содержать в оптимальных температурных условиях, при которых процесс овогенеза и завершающее созревание икры до стадии метания занимает не менее 12 часов. При этом минимальная эффективная температура составляет 24,0 °C, что ниже оптимального диапазона для выращивания (рис. 6).

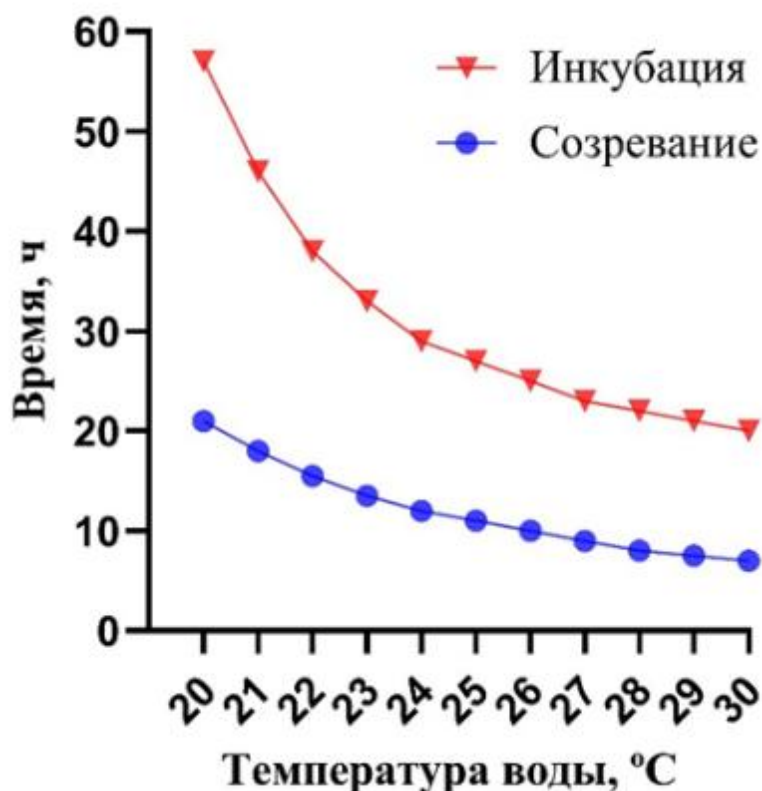


Рисунок 6 – Продолжительность инкубации и созревания икры *C. gariepinus* в зависимости от температуры водной среды

Было также установлено, что для развития гонад необходима температура не ниже 22,0 °C (De Graaf and Janssen, 1996) что несколько ниже оптимального диапазона 25,0–27,0 °C. Следует отметить возможные потери

икры при кратковременном содержании самок — чем короче период созревания, тем выше вероятность получения недозревшей икры, а при длительной выдержке — перезревшей. Процессы развития оплодотворённой икры, как и созревание гонад, также проявляют выраженную зависимость от температурных условий.

1.3.5 Влияние температуры среды на питание африканских сомов

Хорошо известно, что наиболее важными показателями в индустриальной аквакультуре являются скорость роста рыб, коэффициент массонакопления и кормовой коэффициент (оплата корма). Температура воды играет определяющую роль в поддержании должного уровня метаболической активности рыб. Основным физиологическим показателем при выращивании сомов считается их кормовая активность, от которой напрямую зависит как здоровье гидробионтов, так и объём конечной продукции в условиях индустриального рыбоводства. Температурный режим пищеварения должен быть оптимальным для каждой возрастной группы сома.

В естественных условиях температура водной среды изменяется динамически под влиянием различных природных факторов (Озернюк, 2011). Неудивительно, что, согласно данным по некоторым физиологическим параметрам пищеварения *C. gariepinus*, колебания температуры выращивания положительно сказываются на питании и активности ферментов поджелудочной железы у молоди клариевых сомов. На сегодняшний день оптимальная температура для процессов пищеварения у молоди *C. gariepinus* точно не установлена, однако ряд экспериментальных исследований показал, что температура воды напрямую влияет на эффективность переваривания корма, в частности по таким показателям, как скорость опорожнения желудка (определяемая с помощью рентгеновской радиографии) и пищевое поведение рыб. Так, наименьшее время

опорожнения желудка (10 часов) отмечено у особей, содержащихся при 32,0 °С, а наибольшее (16 часов) — при 26,0 °С (табл. 5). Следует отметить, что при постепенном повышении температуры с 26,0 до 32,0 °С (с шагом 1,0 °С в сутки) время переваривания в желудке сокращалось на два часа (Климук и др., 2024в).

Также установлено, что при снижении температуры воды с 25,0 до 10,0 °С со скоростью 2,0 °С в сутки пищевая активность рыб снизилась на 46,67% по сравнению с контрольной группой, содержащейся при постоянной температуре 25,0 °С. При этом при повышенных температурах (30,0 и 35,0 °С) существенных изменений в пищевом поведении зафиксировано не было.

Таблица 5 – ОИТ и критические термальные пороги питания, ферментной активности и скорости переваривания у *C. gariepinus* на разных этапах развития

Жизненная стадия	Физиологический критерий	ОИТ	Порог		Продолжительность опыта, сут	Источник
			Верхний	Нижний		
Молодь	Потребление пищи	25	-	13	7	Ahmad et al., 2014
	Скорость переваривания пищи	32	-	26	70	Kasihmuddin et al., 2021
	ФА протеазы	25	-	20	7	Ahmad et al., 2014
	ФА трипсина	25	35	20		
	ФА липазы	30	35	15		
	ФА печени (АСТ и АЛТ)	28	32	24	112	Al-Deghayem, Suliman, 2019
Взрослая особь	Потребление пищи	28	-	17	-	Власов и др., 2012

Примечание. ФА – ферментная активность

Активность пищеварительных ферментов в желудке молоди также

значительно изменялась под воздействием как повышенных, так и пониженных температур. При 10,0 °C наблюдалась низкая активность протеазы, трипсина и липазы, что, как известно, затрудняет и многократно замедляет процессы гидролиза белков и расщепления жиров, в том числе за счёт нарушения функции поджелудочной железы (гепатопанкреаса) (German et al., 2009). Оптимальной температурой для пищеварения можно считать 25,0 °C, поскольку при этом значении отмечалось значительное повышение активности протеазы и трипсина. Однако, в отличие от перечисленных, активность липазы достигала максимальных показателей только при 30,0 °C. Авторы пришли к выводу, что температура ниже 25,0 °C оказывает негативное влияние на потребление корма и активность пищеварительных ферментов, что свидетельствует о развитии термальной стресс-реакции у рыб (Ahmad et al., 2014). Синтез печеночных ферментов — аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ) — также зависел от температурных условий. При 32,0 °C активность АСТ в крови достигала максимума, тогда как АЛТ демонстрировала наибольшую концентрацию при 28,0 °C. Неблагоприятной температурой для функционирования этих ферментов оказалось значение 24,0 °C (Al-Deghayem, Suliman, 2019).

Нормальное развитие молоди является важнейшим условием успешного товарного выращивания особей (Климук и др., 2023). Было проведено исследование по определению оптимальной температуры для молоди *C. gariepinus*. Линейный рост и прирост массы тесно связаны с температурным режимом. Окончательно избираемая температура (ОИТ) для роста молоди составляет 28,0 °C, при которой за 75 суток выращивания достигались максимальные значения конечной биомассы и снижение затрат корма (Денисенко, 2013).

Что касается взрослых половозрелых особей африканских сомов, установлено, что температура 17,0–18,0 °C оказывает прямое влияние на их кормовую активность, приводя к полному отказу от корма (Власов и др.,

2012).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что физиологически оптимальная пищевая активность у молоди африканских сомов поддерживается в температурном диапазоне 25,0–30,0 °C. Динамическое изменение температуры в пределах этого оптимального интервала положительно влияет на активность пищеварительных ферментов. В то же время ОИТ для скорости переваривания пищи находится за пределами ферментного оптимума и составляет 32,0 °C. Заметное снижение скорости опорожнения желудка наблюдается при температуре ниже 26,0 °C. 2017) (Климук и др., 2024в).

Обобщая имеющиеся данные, можно заключить, что физиологические процессы у рыб, включая индивидуальное развитие, размножение, кормовое поведение и пространственное распределение находятся в строгой зависимости от температуры водной среды. Для обеспечения оптимального протекания этих процессов на каждом этапе жизненного цикла необходимо строгое поддержание температурного режима с целью предотвращения возникновения термальных стресс-реакций.

Размножение самок *Clarias gariepinus* зависит от температуры воды: формирование и созревание гонад у них происходит при температуре 25,0–27,0 °C. У самцов подобная температурная зависимость не выявлена.

Согласно анализу литературных данных, термальные оптимумы развития *C. gariepinus* составляют: для икры — 28,0–30,0 °C, для постличинок — 25,0–26,0 °C и для молоди — 25,0–28,0 °C соответственно.

Выживаемость сомов на ранних стадиях развития напрямую зависит от продолжительности пребывания икры, постличинок и молоди в неблагоприятных температурных диапазонах. Чем меньше время воздействия субоптимальных температур, тем выше процент выживаемости. При этом величина, продолжительность и частота температурных изменений, а также исходная температура акклимации особей, оказывают существенное влияние на степень проявления термального стресса у рыб (Singh et al., 2013).

Функционирование пищеварительного тракта, включая скорость пищеварения, синтез поджелудочных ферментов и пищевое поведение рыб, проявляет выраженную зависимость от температуры. При этом для каждой из рассмотренных физиологических реакций установлены собственные термальные оптимумы. Следовательно, динамическое изменение температуры водной среды в пределах общего оптимального диапазона (25,0–30,0 °C) будет способствовать эффективному протеканию всех этапов пищеварения у африканского сома) (Климук и др., 2024в).

Известно, что при воздействии неблагоприятных температурных условий пищевая активность рыб снижается, вплоть до полного отказа от корма, что напрямую влияет на выход конечной товарной продукции. При индустриальном выращивании в системах замкнутого водоснабжения, распространённых в Европе и России, начиная с этапа молоди (посадочного материала), целесообразно применять культивирование в условиях периодически изменяющейся температуры. Это обусловлено тем, что оптимальные температурные значения для пищеварительных ферментов, скорости переваривания и потребления корма не совпадают и относятся к разным точкам в пределах термального диапазона. Для достижения максимальной эффективности кормления *Clarias gariepinus*, снижения кормового коэффициента и интенсивного роста рекомендуется отказаться от постоянных температурных режимов в пользу термоградиентных условий выращивания.

1.4 Биологические маркеры в изучении температурной акклимации рыб

Определено, что температура водной среды является ключевым фактором, определяющим успешный рост, развитие, питание, воспроизводство, а также формирование генетических и фенотипических особенностей рыб (Кауфман, 2015; Somero et al., 2004). Исследования,

посвящённые температурным адаптациям у рыб, в основном сосредоточены на изучении механизмов устойчивости к низким температурам, в частности в диапазоне от $-1,5$ до 0°C (Озернюк, 2011). Особое внимание уделяется выявлению механизмов синтеза белков-антифризов у арктических и антарктических видов рыб с целью последующего использования этих данных при разработке технологий криоконсервации тканей (Kim et al., 2017). Важное значение приобретают также исследования экологических адаптаций рыб к постепенному повышению температуры среды, обусловленному глобальными климатическими изменениями (Abram et al., 2017).

Для объективной оценки состояния организма рыб применяются различные методики, позволяющие достоверно определить уровень и степень благополучия особей под воздействием различных факторов внешней среды. В контексте данного исследования нами были использованы методики оценки состояния здоровья рыб по гематологическим изменениям картины крови (полу-количественный анализ), концентрации ферментов и белков в сыворотке крови рыб (количественный анализ), гистология печени, кишечника и кожных покровов рыб (качественный анализ) и исследование экспрессии генов в печени рыб (количественный анализ) для всестороннего и глубокого анализа физиологического ответа особей при выращивании в пониженных термальных режимах (22 , 20 , 17 и 15°C).

1.4.1 Гематологические маркеры

Параметры крови являются важными индикаторами здоровья рыб и нормальной физиологии (Климук и др., 2025a). Однако кровь представляет собой сложную физиологическую систему, и параметры чувствительны к внутренним и внешним факторам, включая, в частности: вид рыб, стадию развития и созревания, пол, гидрохимию воды, температуру, питание и плотность посадки (Fazio, 2019; Ahmed et al., 2020).

Многофункциональность клеточных элементов крови и сыворотки определяет глобальную роль в адаптивных реакциях всех организмов, в том числе и гидробионтов (рыб). Гематологические показатели крови и биохимические параметры являются очень чувствительными характеристиками, широко используемыми в зоотехнии, ветеринарии и ихтиологии в системах оценки состояния здоровья, диагностики патологических процессов и качества жизни организмов.

Например, по подсчетному соотношению ювенильных (бластовых) и зрелых форм эритроцитов выявляют активность эритропоэза.

В том числе, для определения лейкоцитозов и лейкопений, в особенности при течении заболеваний или выявления заболеваний на первичных стадиях, используют подсчет лейкоцитов в мазках крови и выводят полноценную лейкограмму.

Ввиду физиологических перестроек организма рыб в периоды интенсивного роста и развития, клеточный состав форменных элементов крови, как правило, претерпевает значительные изменения за счет активного гемопоэза. Могут наблюдаться существенные колебания процентного состава основных иммунных маркеров – лейкоцитов. Таким образом, лейкограмма может зависеть от стадии развития рыбы, типа питания, индивидуальных особенностей, патологий. Поэтому, для осуществления правильного отбора, необходимо контролировать индивидуальные гематологические показатели для каждой рыбы.

1.4.2 Биохимические маркеры

Костистые рыбы, представляющие собой наиболее многочисленную группу позвоночных животных, обладают широким спектром адаптивных механизмов, обеспечивающих успешную акклиматизацию к постоянно меняющимся условиям окружающей среды (Ohlberger et al., 2008). Однако процесс температурной акклимации сопряжён с рядом трудностей — такими

как продолжительность воздействия температуры, скорость температурных перепадов и видовая специфичность акклиматизируемых особей. Для оптимизации выращивания африканских сомов в прудовых условиях требуется комплексное изучение биохимии холодового стресса, что позволит выявить основные паттерны биохимических адаптаций и механизмы иммунного ответа рыб на температурное стрессовое воздействие (Donaldson et al., 2008). Биохимический анализ сыворотки крови включает совокупность показателей, отражающих состояние белкового обмена (общий белок, альбумины, глобулины), а также маркеры функции печени (аспартатаминотрансфераза — АСТ, аланинаминотрансфераза — АЛТ, лактатдегидрогеназа — ЛДГ, щелочная фосфатаза — ЩФ) и почек (мочевина, креатинин), играющие ключевую роль в ферментативных реакциях и общем метаболизме рыб (Климук и др., 2023). Особое значение при оценке стрессового состояния имеют такие показатели, как уровень кортизола и глюкозы в крови — высокочувствительные индикаторы стресса. Кортизол рассматривается как основной гормон, участвующий в реализации физиологической реакции на стресс у позвоночных (Климук и др., 2025а). Ввиду его значительного влияния на углеводный обмен, контроль концентрации глюкозы в крови рыб является необходимым. Повышение уровня кортизола и глюкозы может указывать на мобилизацию защитных механизмов, адаптационные процессы или, наоборот, на развитие патологических состояний в организме (Sadoul, Geffroy, 2019).

1.4.3 Гистологические маркеры

С целью оценки физиологического состояния особей клариевого сома при различных температурах содержания, было проведено гистологическое исследование покровных тканей (состояние барьерной функции), кишечника (пищеварение) и печени (состояние метаболизма), так как ранее было продемонстрировано, что данные органы у рыб демонстрируют

значительные морфологические изменения при изменении температуры водной среды (Dawood et al., 2022; Phrompanya et al., 2021). На рисунке 7 приведены основные иммунокомпетентные органы клариевого сома.

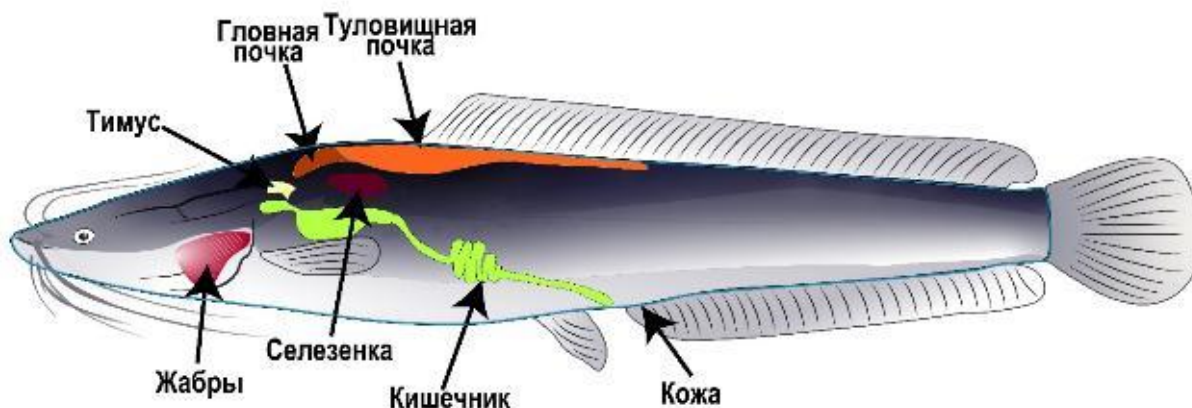


Рисунок 7 – Схематичное расположение основных иммунокомпетентных органов *Clarias gariepinus*

1.4.4 Генетическая экспрессия

Молекулярные механизмы адаптации и акклимации пресноводных рыб к низким температурным режимам активно изучаются многими ихтиологами в контексте выявления молекулярных основ биохимической адаптации, анализа путей взаимодействия генов и их коэкспрессии, а также с целью моделирования будущих программ по созданию холодоустойчивых форм рыб и других объектов аквакультуры (Long et al., 2013). Ранее были охарактеризованы транскрипционные ответы на холодовой стресс у таких видов, как карп обыкновенный (*Cyprinus carpio*) (Gracey et al., 2004), данио-рерио (*Danio rerio*) (Vergauwen et al., 2010) и у канального сома (*Ictalurus punctatus*) (Ju et al., 2002). Эти исследования позволили выявить значительное количество генов, экспрессия которых изменяется при понижении температуры воды и которые участвуют в различных биологических процессах, связанных с адаптацией и акклимацией рыб к температурным условиям выращивания.

Установлено, что акклимация рыб к умеренному холодовому стрессу существенно повышает их устойчивость к последующим резким снижениям температуры (Chou et al., 2008). Следовательно, для выведения жизнестойких линий африканских сомов, пригодных для товарного прудового выращивания в условиях умеренного климата, необходимо изучить молекулярные основы их адаптации к пониженным температурам. Полученные данные могут быть использованы для выявления набора молекулярных маркеров, достоверно реагирующих на холодовой стресс, и их дальнейшего применения для отбора особей, устойчивых к пониженным температурам.

1.5 Обоснование темы диссертационного исследования

Согласно Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 г. от 8 сентября 2022 г. N 2567-р необходимо разработать новые конкурентноспособные и экономически-эффективные технологии в рыбной отрасли для обеспечения продовольственной безопасности страны. Развитие аквакультуры в современном мире призвано обеспечить устойчивое, экологически сбалансированное и социально доступное производство разнообразной рыбной продукции для всех категорий населения, а также удовлетворить потребности смежных отраслей в техническом сырье и биоресурсах.

Одним из решений является внедрение африканского клариевого сома, как объекта аквакультуры, (*Clarias gariepinus*) в прудовое рыбоводство нашей страны. Ограниченная устойчивость к пониженным температурам водной среды затрудняет повсеместное круглогодичное выращивание этого вида в отечественных прудовых хозяйствах и садковых комплексах. Но открывает возможности для использования клариевого сома, как добавочного объекта выращивания в вегетационные периоды (май-сентябрь)

и предполагает зарыбление водоемов посадочным материалом при температурах, ниже оптимальной (25-30°C).

Отсюда, ввиду низкой приспособленности этого вида рыб к содержанию в прудовых хозяйствах умеренного климата, необходимо получить акклимированный посадочный материал, обладающий как улучшенными показателями скорости роста, так и высокой адаптационной способностью к нехарактерным температурным режимам водоема. Для получения высокопродуктивных особей необходимо провести скрещивание отечественных пород африканского сома, культивируемых в различных эколого-территориальных зонах. Для всестороннего анализа холодоустойчивости рыб предполагается провести комплексный анализ физиологического состояния молоди рыб, выявить пороговые температуры, подобрать оптимальную массу рыбопосадочного материала для использования в выращивании в прудовых условиях Белгородской и Курской областей Российской Федерации (III и IV рыбоводные зоны).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 План исследования

По результатам анализа литературных данных и предыдущих работ автора был сформирован план исследования, позволяющий оценить различные варианты скрещивания и выявить основные физиологические изменения у африканских сомов при пониженных температурах содержания. Основные этапы работы и предметы исследования отражены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Схема проведения эксперимента

2.2 Объекты исследования и условия содержания

В качестве объектов исследования были выбраны две породы

африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), а также их гибриды первого и второго поколений (F_1 и F_2) нескольких генераций.

Разновозрастная группа африканского сома породы михайловская (пат. №9064) была получена из рыбоводного хозяйства ООО «ИНАГРОБИО» (Ярославская обл.); половозрелые особи породы таманская, зарегистрированные как африканский сом «Таманский» (пат. №10639), были получены из рыбоводного хозяйства ООО РЭНТОП-АГРО-5 (Краснодарский край).

Перед началом опытов рыбы сортировала по группам и размерно-весовым признакам и содержали не менее 1 мес. в условиях УЗВ для предварительной адаптации. Участок тепловодной аквакультуры для постоянного содержания родительских линий состоял из системы УЗВ, включающей четыре бассейна объемом 3000 л, системы биологической фильтрации, механической фильтрации, а также ультрафиолетовую установку (400 W) с поддержанием константной оптимальной температуры воды равной 28°C (рис. 9).



Рисунок 9 –Участок тепловодной аквакультуры с УЗВ для содержания и выращивания рыб

Все работы, включая инкубацию икры, содержание рыбы, бонитировку и акклимацию проводили на инфраструктурных ресурсах уникальной

научной установки (УНУ) НТИ РФ Рег. № 3662433 – «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

После адаптационного периода рыб сортировали по группам по половым, морфометрическим и рыбоводно-биологическим признакам и переводили в отдельные нерестные бассейны, включающие 6 бассейнов УЗВ объемом 1000 л (2 линии УЗВ по 3 бассейна). Данные установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) были оснащены системами механической и биологической фильтрации с ежедневной подменой 10% воды в системе (рис. 10) и системами дополнительной аэрации.



Рисунок 10 – Установки с замкнутым циклом водоснабжения для выращивания молоди африканских сомов в «Центре Аквакультуры» ФБиРХ МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ): *а* – модули УЗВ для акклимации особей, *б* – модули УЗВ для выращивания молоди

Инкубацию икры проводили в отдельных бассейнах УЗВ объемом 500 л, включающих дополнительную систему аэрации и подогрева воды (28-30°C). Оплодотворенную икру помещали на сетки с ячейей 1,2×1,2 мм, и инкубировали не менее 5-ти суток (до появления активно плавающих и заглатывающих воздух пост-личинок). Далее проводили бонитировку молоди в выростные бассейны УЗВ объемом 1000 л. Бонитировка производилась на 15, 30, 60 и 90 сут выращивания. Взрослые особи (инд. массой не менее 900

г) содержались в резервуарах УЗВ объемом 1000 л.

На протяжении всех периодов выращивания и содержания сомов производился контроль за гидрохимическими показателями воды (аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты, железо суммарное), физическими показателями воды (рН, температура, уровень кислорода) и поведенческим статусом рыб (кормовая активность, локомоторные показатели). Контроль показателей температуры и рН осуществлялся с помощью рН-метра Hanna HI98128. Количество растворенного кислорода определялось с использованием оксиметра Milwaukee MW600. Гидрохимические параметры, а именно нитраты, нитриты и аммоний оценивались согласно стандартным гидрохимическим методам (Агатова и др., 1991).

Все манипуляции с рыбой проводили с соблюдением правил биоэтических рекомендаций, описанных в руководстве по уходу и использованию лабораторных животных (National Research Council, 2011).

Кормление рыб осуществлялось стандартными гранулированными экструдированными комбикормами фирмы (экструдированный продукционный корм для сомов 6 мм) два раза в день, согласно таблицам кормления (Рыбоводство). Кормление пост-личинок проводили стартовым кормом (науплии *Artemia salina*, Коппенс Старт Премиум 0,5-0,8 мм).

Состав опытных групп в исследовательской работе и условия их содержания отражены в табл. 6.

Таблица 6 – Условия проведения экспериментов и состав опытных групп

Группа			Условия содержания	Количество рыб в группе (экз.)
Год	Полное название	Аббревиатура		
2023	Михайловские (родительская линия)	Р_михайловская	Бассейны УЗВ (3000 л)	40
	Таманские (родительская линия)	Р_таманская	Бассейны УЗВ (3000 л)	40
	Гибриды F ₁ михайловская × таманская (молодь)	Гибриды F ₁	Бассейны УЗВ (1000 л)	20 000

	Гибриды F ₁ таманская × михайловская (молодь)	-	Бассейны УЗВ (1000 л)	5 000
	Чистая линия михайловские (молодь)	Михайловская	Бассейны УЗВ (1000 л)	10 000
	Чистая линия таманские (молодь)	Таманская	Бассейны УЗВ (1000 л)	10 000
2024	Гибриды F ₁ михайловская × таманская (взр. особи)	Гибриды F ₁	Бассейны УЗВ (1000 л)	40
	Чистая линия михайловские (взр. особи)	Михайловская	Бассейны УЗВ (1000 л)	40
	Чистая линия таманские (взр. особи)	Таманская	Бассейны УЗВ (1000 л)	40
	Гибриды F ₂ (F ₁ ×F ₁) (молодь)	Гибриды F ₂	Бассейны УЗВ (1000 л)	25 000

За все время опыта гидрохимические показатели содержания веществ азотного ряда и фосфатов не выходили за пределы нормальных значений (NH₄ <0.05; NO₂ 0.15±0.02; NO₃ 13.1±0.9; PO₄ 1.1±0.1 мг/л).

2.3 Получение гибридного потомства

Получение гибридного потомства *Clarias gariepinus* первого поколения (F₁) осуществлялось с использованием двух гено- и фенотипически различных популяций – породы михайловская и породы таманская.

Получение гибридного потомства второго поколения (F₂) осуществлялось методом сиб-скрещивания половозрелых самок и самцов гибридов F₁.

2.3.1. Оценка производителей

В первую очередь у родительских групп были оценены основные морфометрические и продукционные показатели – индексы прогонистости (I/H) и компактности (I/O), руководствуясь общепринятой методикой (Комлацкий и др., 2018).

Самок подготавливали к нересту с помощью эколого-физиологического метода стимулирования созревания икры (повышение температуры и введение гипофизарной инъекции). Использовали

однократные инъекции с гипофизом клариевых сомов в дозах, указанных в работе S. Gadissa и L. Devi (2013). Гипофизарные инъекции вводили особям в однократной дозе. Длительность дозревания производителей клариевого сома составляло в среднем 14 ч (от 12 до 16 ч).

Анализ воспроизводственных качеств линий проводили, используя несколько вариантов скрещивания (испытание пар): михайловские самки × таманские самцы, таманские самки × михайловские самцы и скрещивание чистых линий (разведение «в себе») михайловской и таманской группы (рисунок 11).

Воспроизводительные характеристики самок были оценены по ряду показателей качества икры и степени ее оплодотворяемости половыми продуктами самцов.

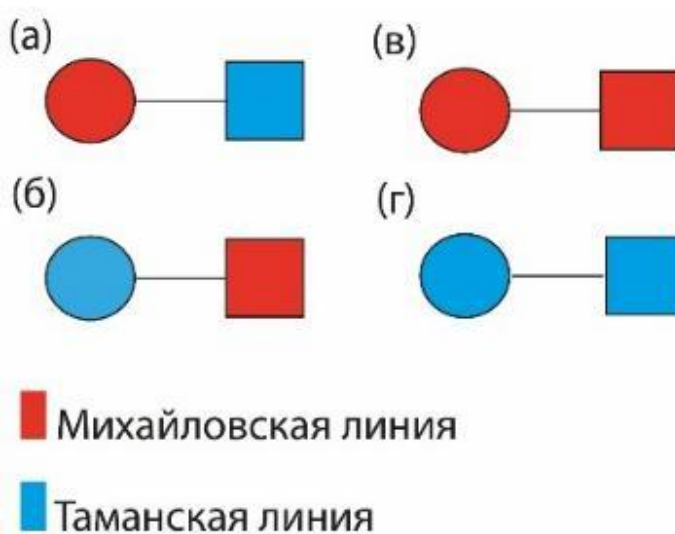


Рисунок 11 – Схема испытательных скрещиваний пар двух пород: вариант *а* михайловская ♀×♂ таманская, вариант *б* – таманская ♀×♂ михайловская, вариант *в* – михайловская ♀×♂ михайловская, вариант *г* – таманская ♀×♂ таманская

Процент оплодотворения подсчитывался на 1000 икринок с использованием светового микроскопа Olympus BX53 и камеры Carl Zeiss ERc 5s. Оценивали массу икринок (мг) используя лабораторные аналитические весы OHAUS Adventurer AV264 C (260 г, погрешность 0,0001

г). Рассчитывали среднюю массу икры от самки (г) используя весы портативные OHAUS Scout Pro SPS6001F (6000 г, погрешность 0,1 г), проведя взвешивание не менее 3-х порций икры. Также рассчитывали относительную плодовитость самок (тыс. шт) произведя отношение индивидуальной абсолютной плодовитости (общего числа икринок у самки) к массе самки, согласно общепринятым методикам (Правдин, 2013).

Процент выклева выражали в процентах от общего количества закладываемой икры после подсчета живых пост-личинок на 6 сутки инкубации.

Также вели счет личинок с дефектами развития, для этого отбирали пробу из лотков во время инкубации (на 26-й час инкубации) и просматривали личинки в чашках петри под световым микроскопом. Вели учет личинок с дефектами развития, а именно – отсутствие хорды, глаз, неправильная структура желточного мешка. Оценивали не менее 100 личинок в 3-х повторностях из каждой опытной группы.

На 9 сутки после перевода личинок в выростные бассейны измеряли их индивидуальную массу, используя весы портативные OHAUS Scout Pro SPS6001F (6000 г, погрешность 0,1 г). Измеряли вес не менее 50-ти личинок в 3-х повторностях для каждой группы исследования.

Анализ половых продуктов самцов проводили, используя стандартные показатели оценки. Самцов-производителей иммобилизовали до полной остановки дыхания в свежеприготовленном растворе MS-222 в концентрации 1 мг/л. Гонады извлекали, подсушивали ватно-марлевой салфеткой, прокалывали. Сперму сцеживали сквозь марлю в сухую емкость и измеряли ее объем (мл). Объем эякулята определяли индивидуально для каждого производителя с помощью мерной посуды – градуированных пробирок с точностью до 0,1 см³. Активность спермиев оценивали под микроскопом с использованием секундомера. На стекло капали каплю спермы и включали секундомер. Отсчет останавливали в тот момент, когда более 50–60 % спермиев переходили от поступательного движения к колебательному.

Каждую пробу анализировали не менее трех раз. От каждого самца клариевого сома отбирали три пробы половых продуктов. Концентрацию спермы рассчитывали при помощи камеры Горяева. При увеличении 280–400 крат проводили подсчет спермиев в пяти больших квадратах, каждый из которых включал 16 мелких квадратов (всего — 80 малых квадратиков). Концентрацию спермиев (в млн/мм³) рассчитывали по формуле:

$$\text{Концентрация спермиев (C)} = \frac{n \times D}{N \times V} \times 1\,000\,000 \quad (1)$$

где: C – концентрация спермиев; n – число подсчитанных спермиев; D – степень разбавления (равна 200); N – число сосчитанных малых квадратиков (80); V – объем малого квадратика (1/4000 мм³); 1 000 000 – множитель, введенный в формулу потому, что подсчет ведется в млн/мм³.

Соотношение живых и мёртвых спермиев определяли под микроскопом при увеличении 400–600 крат. Полученные данные оценивали по 5-балльной шкале.

Балл 5 — все спермии демонстрируют выражено поступательное движение; подвижность очень высокая, затруднено наблюдение отдельных спермиев.

Балл 4 — поступательное движение спермиев чётко выражено, однако в поле зрения присутствует небольшое количество (10–15 %) спермиев с колебательным движением.

Балл 3 — преобладают спермии с поступательным движением, но отмечается повышенная доля (30–40 %) спермиев с колебательным движением, а также присутствуют неподвижные особи.

Балл 2 — спермии с поступательным движением единичны; до 70–75 % спермиев находятся в неподвижном состоянии.

Балл 1 — все спермии неподвижны.

Сперма с оценкой 1 и 2 балла для оплодотворения икры не используется (Кучко, 2015).

Осеменение икры проводили сухим способом (не добавляя жидкость).

С начала ккру помещали в сухую чистую тару, добавляли сперму и тщательно и аккуратно перемешивали в течении 1 мин, только затем добавляли воду, и вновь перемешивали. Затем воду из тары с икрой сливали, наполняли вновь, и, после перемешивания, распределяли по инкубационному бассейну.

2.4 Рыбоводно-биологические показатели

Рыбоводно-биологические показатели вычислялись во всех экспериментальных группах (родительские линии михайловской и таманской пород; при бонитировке личинок, молоди и взрослых особей гибридов первого и второго поколения). Измеряли индивидуальную массу рыб и длину согласно методике (Правдин, 1966).

Расчет размерно-весовых коэффициентов рыб проводился для каждой группы исследования по следующим формулам (1-7; Lugert et al., 2016):

$$\text{Удельная скорость роста (УСР)} = \frac{\log(W_f) - \log(W_s)}{N_t (\text{сут.})} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Абсолютная скорость роста (АСР)} = \frac{SL_f - SL_s}{t} \quad (3)$$

$$\text{Среднесуточная скорость роста (ССР)} = \frac{\text{СПМ}}{W_f} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Относительная скорость роста (ОСР)} \\ = \frac{W_f - W_s}{0,5 \times (W_f + W_s)} \times 100 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Кормовой коэффициент (КК)} = \frac{W_{df} (\text{сухого корма})}{WB_f - WB_s} \quad (6)$$

$$\text{Коэффициент упитанности (КУ)} = \frac{W \times 100}{SL^3}, \quad (7)$$

где: W_s и W_f – биомасса рыбы в начале и в конце опыта; WB_s и WB_f – биомасса рыбы в начале и в конце опыта; N_t – продолжительность эксперимента (сут); W_{df} – количество корма; L_s и L_f – длина рыбы в начале и в конце опыта; L – длина; t – продолжительность опыта (сут).

С целью уменьшения влияния стресс-факторов перед проведением измерений рыба подвергалась обработке в растворе MS-222 (1 мг/л), имеющего выраженный седативный эффект. Исследуемые особи взвешивались, измерялись; фиксировалось наличие повреждений и заболеваний.

2.5 Морфометрический анализ

Конституционные особенности рыб оценивали по морфометрическим (экстерьер) показателям, а также по продукционным индексам.

2.5.1 Показатели экстерьерной оценки

Всего было измерено 20 экстерьерных параметров у рыб, достигших индивидуальной массы не менее 900 г, или половозрелости (Климук и др., 2025б). Измеряли: промысловую длину (SL, см); антепектральное расстояние (PPD, см); длину головы (HL, см); антедорсальное расстояние (PDD, см); антевентральное расстояние (PVD, см); антеанальное расстояние (PAD, см); длину основания спинного плавника (DFL, см); длину грудного плавника (PFL, см); длину основания анального плавника (AFL, см); высоту тела (BDA, см); высоту основания хвоста (CPD, см); обхват тела (O, см); расстояние между спинным и хвостовым плавниками (DDCF, см); длину рыла (SNL, см); межглазничное расстояние (ID, см); диаметр глаза (ED, см); ширину головы (HW, см); расстояние до затылочной впадины (DSO, см); длину затылочной впадины (OFL, см); ширину затылочной впадины (OFW, см) (рисунок 12). Все промеры африканских сомов были выполнены согласно работам (Legendre et al., 1992; Iswanto et al., 2015).

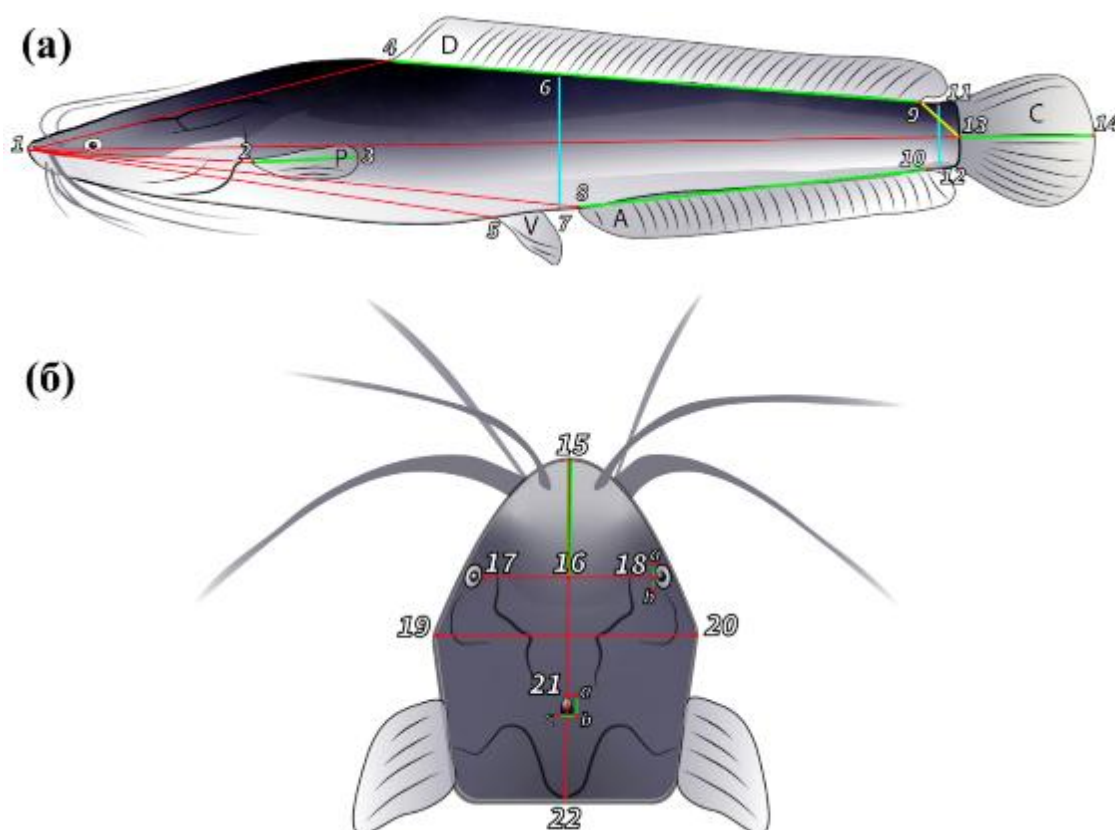


Рисунок 12 – Схематичное изображение морфометрических параметров *Clarias gariepinus* сбоку (а) и сверху (б): D - дорсальный, А - анальный, Р - пектральный, V – вентральный и С – каудальный плавники; 1-14-TL, общая длина тела; 1-13-SL, стандартная (промысловая) длина; 1-2-PPD, антепектральное расстояние; 15-22-HL, длина головы; 1-4-PDD, антедорсальное расстояние; 1-5-PVD, антевентральное расстояние; 1-8-PAD, антеанальное расстояние; 4-9-DFL, длина основания спинного плавника; 2-3-PFL, длина грудного плавника; 8-10-AFL, длина основания анального плавника; 6-7-BDA, высота тела; 11-12-CPD, высота основания хвоста; 9-13-DDCF, расстояние между спинным и хвостовым плавниками; 15-16-SNL, длина рыла; 17-18-ID, межглазничное расстояние; 18(a-b)-ED, диаметр глаза; 19-20-HW, ширина головы; 15-21-DSO, расстояние до затылочной впадины; 21(a-b)-OFL, длина затылочной впадины; 21(b-c)-OFW, ширина затылочной впадины

Для нормализации данных, все признаки туловищного отдела (PPD, PDD, PVD, PAD, DFL, PFL, AFL, BDA, CPD, DDCF) приводили в процентах

к стандартной длине тела (SL), и результаты промеров головного отдела (SNL, ID, ED, HW, DSO, OFL, OFW), к длине головы особей (HL).

2.5.2 Продукционно-метрические характеристики

Продукционные индексы рыб рассчитывают на основании сделанных ранее морфометрических промеров и рыбоводно-биологических показателей.

Основными продукционными индексами при оценке индивидуальной продуктивности особей являются индекс высоты тела рыб (прогонистости), индекс большеголовости, индекс компактности и коэффициент упитанности (см. раздел 2.4).

Рассчитывают продукционные индексы по формулам:

$$\text{Индекс высоты тела (прогонистость)} = \frac{SL}{BDA} \quad (8)$$

$$\text{Индекс большеголовости (большеголовость)} = \frac{HL}{SL} \quad (9)$$

$$\text{Индекс компактности (компактность)} = \frac{O}{SL} \quad (10)$$

где, SL – стандартная (промысловая) длина рыбы (см), BDA – высота тела рыбы (см), HL – длина головы (см), O – обхват тела рыбы (см).

2.6 Акклимация молоди к пониженным температурам водной среды

Схема гипотермического эксперимента отражена на рисунке 13. Модель воздействия пониженных температур (субоптимальных) представлена следующим образом:

1. Контрольная температура – 25°C (оптимум), длительность содержания 15 сут;
2. Диапазон понижения температуры - t в емкостях постепенно снижали с 25 до 15°C со скоростью 2°C/сут в течение 9 сут.

Динамическое изменение температур в резервуарах УЗВ проводилось с использованием охлаждающего элемента (HAILEA HC-2200BH, Китай).

Длительность эксперимента составила 24 сут; всего было задействовано 90 рыб. Эксперимент проводили в трех биологических повторностях.

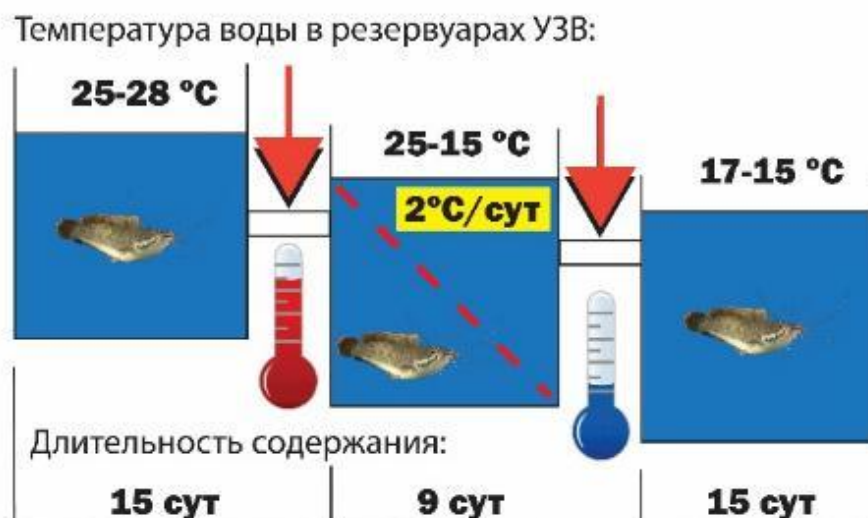


Рисунок 13 – Общая схема проведения эксперимента

Оценку особей проводили по следующим критериям, описанным в таблице 7.

Таблица 7 – Некоторые признаки акклимации гибридной молоди африканского сома разной размерно-массовой категории к пониженным термальным режимам выращивания

Признаки акклимации	Навеска массой 50-95 г	Навеска массой 150-200 г
Локомоторная активность	<i>положительная</i>	<i>положительная</i>
Пищевая активность	<i>положительная</i>	<i>положительная</i>
Скорость роста, г/сут	0,05	0,02
Количество молоди с дефектами развития, %	до 10	до 5
Выживаемость	80	90

Поведенческие реакции выступают универсальными маркерами нарушений физиологического гомеостаза организма, сигнализирующими о развитии стресс-реакций, к которым относятся физиологический (эустресс), патологический (дистресс), и компенсаторно-приспособительные реакции. Эустресс и дистресс используют в качестве индикаторов, вызванного шоком организма от воздействия низких температур (Donaldson et al., 2008).

Поведенческие реакции рыб оценивают по нескольким параметрам, к которым относятся: кормовое поведение (реакция особи на кормление, включающая продолжительность поиска пищи), двигательная (локомоторная) активность, скорость роста особи в сутки, дефекты (патологии) развития и процент выживаемости.

В том числе, на протяжении акклимации и выращивания африканских сомов в УЗВ необходимо контролировать следующие гидрохимические параметры водной среды (таблица 8).

Таблица 8 – Химический состав воды в рыбоводных емкостях УЗВ

Параметр	Требование
Кислород, мг/л	5-6
Аммоний, мг/л	<10
Нитриты, мг/л	<0.2
Нитраты, мг/л	<50
Фосфаты, мг/л	<0.1

Успешная акклимация достигается высокой выживаемостью молоди в пониженных термальных режимах выращивания, а также доп. контроля некоторых физиологических параметров.

2.6.1 Гематологический анализ крови

Перед забором проб рыб седатировали в растворе гвоздичного масла (0,05 %). Забор крови для приготовления препаратов периферической крови молоди сомов и взрослых особей производили из хвостовой артерии в количестве не менее 1,5 мл одноразовым стерильным шприцем объемом 2 мм² согласно общепринятой методике (Nabi et al., 2022). Подсчет количества эритроцитов и лейкоцитов в сыворотке производили с помощью гемоцитометра (Rusia, Sood, 1992). Для забора крови отбиралось по 3 особи из каждой опытной группы в двухкратной повторности (n=6).

Подготовленные препараты окрашивали в соответствии со стандартной методикой (Sula et al., 2020; Canedo et al., 2021). Сушили препараты 30 сек,

затем фиксировали в фиксирующей смеси Никифорова (этиловый спирт (96°) и диэтиловый эфир (разведение 1:1) 1 мин, и окрашивали фиксирующим раствором Лейшмана (4 мин.). Влажные мазки промывали большим объемом дистиллированной воды комнатной температуры, далее высушивали на воздухе и окрашивали красителем азур-эозином по Романовскому 13 мин. По истечении времени мазки повторно промывали дистиллированной водой и окончательно просушивали.

На готовых препаратах периферической крови производили подсчет форменных элементов крови: зрелые и молодые (ювенильные) формы эритроцитов, лимфоциты (крупные (11,4 к 9,6 мкм) и малые формы (9 к 7,7 мкм), нейтрофилы, базофилы, эозинофилы, моноциты и тромбоциты. Для определения лейкоцитарной формулы на препаратах подсчитывалось не менее 200 лейкоцитов в мазке с иммерсионным маслом (увеличение 1000: объектив $\times 100$, окуляр $\times 10$). Определение и идентификацию форменных элементов крови сомов были проведены согласно работам (Иванова, 1983; Megarani et al., 2020). Мазки просматривали под Olympus BX53.

Долю различных стадий эритроцитов, выражаемую в процентах, определяли по формуле:

$$X = \frac{n}{1000} \times 100 \quad (11)$$

где X – относительное содержание незрелых эритроцитов (%);

n – кол-во незрелых эритроцитов, встречающихся при подсчете 1000 эритроцитов (шт).

Процентное соотношение клеток в лейкограмме рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{m}{n} \times 100 \quad (12)$$

где X – относительное содержание определяемой группы лейкоцитов (%);

m – кол-во клеток одной группы, найденное при подсчете лейкоцитов (шт);

n – кол-во подсчитанных лейкоцитов (200) (шт).

2.6.2 Биохимические показатели сыворотки крови

Анализ сыворотки крови проводили в каждом варианте температуры (25, 22, 20, 17 и 15°C) в экспериментальных группах рыб, случайным образом отбирая по 3 экземпляра из каждой группы без видимых повреждений в двухкратной повторности ($n=6$). Взятие крови производили из хвостовой вены рыбы. Кровь отбирали в количестве 1–1,2 мл. Биохимический анализ включал в себя определение маркеров белкового обмена – общий белок, альбумины, глобулины; а также печени (аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ), щелочная фосфатаза (ЩФ) и лактатдегидрогеназа (ЛДГ); почки (мочевина, креатинин) и маркеров стресса (глюкоза и кортизол) (Климук и др., 2025а).

АСТ, АЛТ, креатинин и мочевину в сыворотке определяли с использованием готовых реактивов на анализаторе CS-T240 (Китай), следуя инструкциям производителя. Уровень глюкозы в крови (ммоль/л) измеряли с использованием ферментных наборов (Bio-Merieux, Франция). Общий белок (Dumas et al., 1981) и альбумины (Reiner, 2012) в сыворотке крови определяли с помощью биуретовой реакции, содержание глобулинов рассчитывали математически. Кортизол измеряли с помощью набора реагентов «Кортизол ИФА» (ХЕМА-MEDICA, Россия) согласно инструкциям производителя.

2.6.3 Гистология тканей печени, кишечника и кожных покровов

Гистологический анализ проводили в каждой экспериментальной группе при температурах 25, 22, 20, 17 и 15°C. Анализировали состояние кожных покровов и внутренних органов – печени и кишечника рыб.

Из каждой группы исследования отбиралось по 4 экземпляра. Рыбу умерщвляли в MS-222 (10 мг/л), далее выделяли образцы тканей (3-8 г) и

фикси́ровали в 4% нейтральном формалине сутки при температуре 20-23°C. Образцы фикси́ровали в спирто-этаноловой смеси (1 час, 80 % – 1 час, 95 % – 1 час и 99 % – два раза по 1 часу) (Citadel 2000, Thermo FS, США). Затем выдерживали в ксилоле (1,5 ч) и заливали в парафин. По истечении фиксации изготавливали три микротомных серийных среза из каждого образца (Minux S700A, RWD Life Science, Китай) толщиной 4 мкм, окрашивали гематоксилин-эозином (H&E). Изготовление и окрашивание гистологических срезов проводили по методике K. S. Suvana et al. (2018).

Полученные препараты просматривали под световым микроскопом Olympus BX53 (Olympus Corp., Япония) с окулярными насадками CarlZeiss ERc 5s (Zeiss, Оберкохен, Баден-Вюртемберг, Германия) и ToupCam 16.0 MP (ToupTek Photonics, Ханчжоу, Чжэцзян, Китай) и программы (ПО) ZEN lite (Zeiss) и ToupCam view 16.0 (ToupTek Photonics). Adobe Photoshop 2024 (Adobe Systems, Сан-Хосе, Калифорния, США) использовали для улучшения демонстрационных качеств изображений.

2.6.4 Транскриптомный анализ печени

Объектом исследования являлись особи африканского сома *Clarias gariepinus*, полученные путем скрещивания между собой гибридного поколения F₂ от двух пород (♀ михайловская × ♂ таманская). Молодь *Clarias gariepinus* (живая масса 115,4±1,7 г, длина 19,6±0,5 см) содержали в трех изолированных бассейнах УЗВ 140×110×90 см (объем 1000 л) по 30 особей/бассейн (плотность посадки 3,4 кг/м³).

Отбор образцов печени для выделения суммарной РНК осуществляли у случайно отловленных и не имеющих видимых повреждений рыб. По 3 экземпляра из резервуаров с контрольной (25°C) и пониженной (15°C) температурами.

Для иммобилизации рыб использовали раствор MS-222 в концентрации 1 мг/л. Для проведения транскриптомного анализа было взято от 90 до 170 мг

ткани печени и зафиксировано в водном фиксаторе IntactRNA (Евроген, Россия).

РНК выделяли с использованием набора MagMAX mirVana Total RNA Isolation Kit (Thermo Fisher Scientific, США) на системе очистки KingFisher Flex Purification System (Thermo Fisher Scientific, США). В соответствии с протоколом производителя, выделенную РНК обрабатывали ДНКазой с использованием набора Turbo DNA-Free Kit (Thermo Fisher Scientific, США) в реакционном объеме 50 мкл. Концентрацию общей РНК измеряли с использованием набора Quant-iT Ribogreen RNA Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, США), а качество РНК оценивали на биоанализаторе Agilent Bioanalyzer с чипами Agilent RNA 6000 Pico Chips (Agilent Technologies, США).

Подготовка библиотек и РНК-секвенирование. Для подготовки транскриптомных библиотек в качестве входных данных использовали 200 нг общей РНК. библиотеку готовили с помощью набора TruSeq Standed mRNA (Illumina, США). Этапы очистки РНК выполняли с использованием магнитных шариков RNA Clean XP (Beckman Coulter, США), а окончательную очистку библиотеки проводили с помощью магнитных шариков Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, США). Распределение размеров и качество библиотек оценивали с помощью набора Agilent High Sensitivity DNA Kit (Agilent Technologies, США), количественную концентрацию библиотеки определяли с помощью набора Quant-iT DNA Assay Kit, High Sensitivity (Thermo Fisher Scientific, США). Эквимоллярные количества всех библиотек (12 пМ) были объединены и секвенированы в высокопроизводительном прогоне на платформе NovaSeq X Plus (Illumina, США) с использованием 2×101 парных конечных прочтений. Данные считывания РНК-секвенирования были помещены в архив считывания последовательностей NCBI под номером доступа PRJNA1279200.

Демультимплексирование результатов секвенирования выполнялось с помощью программного обеспечения для конвертации файлов bcl2fastq

(version 2.20) (Illumina, США). Адаптеры были обрезаны с помощью Skewer (version 0.2.2) (Illumina, США). Качественная обрезка прочтений не проводилась. Обрезанные прочтения картировались на эталонный геном CGAR_prim_01v2 (номер доступа сборки GenBank GCF_024256425.1) с использованием STAR (version 2.7.3). Анализ дифференциальной экспрессии между группами проводился с помощью DESeq2 (version 1.24.0) в R (version 4.4.3) (R Core Team, 2025). Гены с пороговым значением ложного обнаружения (*False Discovery Rate*, FDR) 0,05 и кратностью изменения (*Fold Change*, FC) $\log_2FC \leq -1$ или $\log_2FC \geq 1$ считались дифференциально экспрессированными.

Функциональный анализ обогащения категорий Gene Ontology (GO) и путей Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) для дифференциально экспрессируемых генов (DEG) был выполнен и в среде RStudio (v 3.6.0; RStudio, PBC, Boston, MA) с использованием языка программирования R (v 4.4.3) и набора пакетов Bioconductor (v 1.14.0) (Marini et al., 2020). В качестве референсного организма был использован данио-рерио (*Danio rerio*), как широко применяемый в биомедицине модельный объект.

2.7 Технологическая оценка рыбной продукции

В биопродукционных технологических исследованиях особое место занимает оценка потенциальных технологических характеристик рыбы, основное внимание при этом уделяется процентному соотношению выхода съедобных и несъедобных частей. Выход съедобных и несъедобных частей определяли по ГОСТ 7631-2008 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей».

Основными технологическими показателями рыб являются выход порки, тушки, головы и филе, выражаемые в % от массы целой рыбы:

$$L = \frac{x \times 100\%}{y} \quad (13)$$

Где: L – процент выхода частей тела, x – масса частей тела, y – масса целой рыбы.

Измеряли массу целой рыбы, массу потрошенной рыбы с головой (тушка), массу потрошенной рыбы без головы (порка), массу головы и массу филе. Также учитывали массу внутренних органов, жира, гонад и костей.

2.8 Статистическая обработка данных

Анализ выборочных данных проводили с предварительным определением нормальности распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. В случае невыполнения этого положения использовали непараметрический тест Краскела–Уоллиса с пост-хок тестом Данна, иначе – статистику t -Стьюдента.

В качестве показателя вариабельности среднего значения признака (M) определяли стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (CV). Значение $p < 0,05$ было принято, как статистически значимое. Для выявления взаимосвязи концентрация-эффект применялся регрессионный анализ с использованием коэффициента корреляции (r) Пирсона. Обработка статистических данных производилась с использованием GraphPad Prism version 10.2 software (GraphPad, San Diego, CA, USA) и R software (v3.5.2)/RStudio v 2023.06.0 (RStudio Team, 2020). Преобразование и визуализация данных в среде R была выполнена с помощью следующих общедоступных пакетов: factoextra v 1.0.7 (Kassambara & Mundt, 2020), cluster v 2.1.4 (Maechler et al., 2022); tidyverse 1.3.0 (Wickham et al., 2019).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ: ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНОГО ПОТОМСТВА *C. GARIEPINUS*, АККЛИМИРОВАННОГО К ПОНИЖЕННЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ

3.1 Межпородная гибридизация *C. gariepinus*

3.1.1 Отбор и подбор производителей, и получение потомства первого поколения

В качестве ремонтных особей были выбраны самки и самцы из двух изолированных популяций, выращиваемых в разных эколого-климатических зонах с различной родословной (по информации из реестра МСХ РФ) – породы африканского клариевого сома михайловская и таманская.

По результатам проведенного морфометрического анализа основных продукционных индексов производителей, михайловские самки обладали большим индексом прогонистости ($6,2 \pm 0,79$) и компактности ($0,36 \pm 0,04$) по сравнению с таманскими самками (табл. 9).

Таблица 9 – Характеристика производителей пород михайловская и таманская

Кол-во рыб, экз	Пол	Средняя масса, г	Индекс прогонистости I/H	Индекс компактности I/O
20	Самка михайловская	$1900,0 \pm 291,5$	$6,2 \pm 0,79$	$0,36 \pm 0,04$
20	Самец михайловский	$1220,0 \pm 192,4$	$5,49 \pm 0,41$	$0,35 \pm 0,03$
20	Самка таманская	$4820,0 \pm 1610,0$	$5,93 \pm 0,65$	$0,34 \pm 0,05$
20	Самец таманский	$3768,0 \pm 1707,3$	$5,98 \pm 0,45$	$0,38 \pm 0,03$

Не было выявлено статистически достоверных различий между группами исследования. Тем не менее, для нерестовой компании были отобраны самки михайловской породы (рис. 14), и самцы таманской (рис. 15).



Рисунок 14 – Женская особь михайловской породы



Рисунок 15 – Мужская особь таманской породы

Воспроизводительные характеристики самок были оценены по ряду показателей качества икры и степени ее оплодотворяемости половыми продуктами самцов.

Согласно проведенным исследованиям, масса икринок клариевых сомов породы михайловская является оптимальной (1,52 мг), соответствует икре высокого качества; масса предличинок составляла 1,16 мг за 48 ч инкубации. Количество личинок с дефектами развития не превышало 10% при оплодотворяемости 70,5%. Индивидуальная масса 9-суточных личинок 0,04 г. Относительная плодовитость михайловских самок находилась на уровне 186,0 тыс. шт. икринок, при массе икры около 310 г (табл. 10).

Таблица 10 – Характеристика воспроизводительных качеств самок

Показатели оценки	Михайловские (n=5)		Таманские (n=5)	
	<i>M±SD</i>	<i>CV, %</i>	<i>M±SD</i>	<i>CV, %</i>
Масса икринок, мг	1,52±0,08	5,3	1,46±0,04	31,3
Масса предличинок, мг	1,16±0,02	1,7	1,1±0,05	2,0
Кол-во личинок с дефектами развития, %	10,1±0,05	0,5	13,3±0,07	3,2
Масса 9-суточных мальков, г	0,04±0,01	25	0,03±0,01	33
Средняя масса икры от самки, г	310,0±114,0	36,8	312,0±125,1	33,4
Процент выклева, %	70,5±12,2	17,3	68,3±15,4	21,2
Рабочая плодовитость, тыс шт	186,0±68,4	36,8	192,0±89,8	42,5

Показатели таманских самок находились на удовлетворительном уровне – масса икринок соответствует оптимальной (1,46 мг), масса предличинок 1,1 мг за 48 ч инкубации, что несколько ниже показателей для михайловской породы. Количество личинок с дефектами развития составило в среднем около 13% при оплодотворяемости 68,3%. Индивидуальная масса 9-суточных личинок таманской породы составила 0,03 г. Рабочая плодовитость таманских самок находилась на уровне 192,0 тыс. икринок, при средней массе икры от самок 312 г.

Анализ половых продуктов самцов проводили, используя стандартные показатели оценки (табл. 11).

Таблица 11 – Качество половых продуктов самцов

Показатели оценки	Михайловская (n=5)		Таманская (n=5)	
	<i>M±SD</i>	<i>CV, %</i>	<i>M±SD</i>	<i>CV, %</i>
Объем эякулята, мл	18,3±3,3	23,8	23,1±5,2	22,5
Активность спермиев, сек	42,5±4,1	8,9	48,4±2,8	5,8
Концентрация спермиев, млн/мм ²	23,8±1,2	14	22,4±3,8	17
Количество живых спермиев, %	93,0±1,1	4,1	95,0±3,7	3,9

Анализировали объем эякулята, составляющего в среднем 23,1 мл у

таманской породы и 18,3 у михайловской. Активность спермы африканского сома среднего уровня, при добавлении воды сохраняет двигательную активность не менее 48,4 с (таманская), 42,5 с (михайловская). Концентрация спермиев составляла 22,4 млн/мм (таманская), 23,8 млн/мм (михайловская). Согласно визуальной оценке, сперма африканского сома породы таманская высокого качества (кол-во живых спермиев составляет не менее 95%), у михайловской – выше средней (93%).

Исходя из полученных данных, не было выявлено значительных отличий по воспроизводственным показателям самок и самцов у михайловской и таманской групп, тем не менее, для последующих нерестовых кампаний были использованы михайловские самки и таманские самцы, обладающие лучшими характеристиками.

В качестве родительских групп для получения потомства первого поколения (F_1 в 2023 г) были выбраны самки породы михайловская (пат. №9064) и самцы породной группы таманская (пат. №10639), отличающиеся превосходящими параметрами: по морфометрическим (индексы прогонистости (I/H) и компактности (I/O) и воспроизводственным показателям.

3.1.2 Разведение в себе гибридов F_1 и получение потомства второго поколения

В качестве родительских групп для получения потомства второго поколения (F_2 в 2024 г) были выбраны самки и самцы первого поколения, выращенные за короткий вегетационный период в прудовом хозяйстве Белгородской области (село Ураево Валуйского городского округа). Отбор производителей для нереста осуществляли по выбранным ранее показателям: индексы прогонистости (I/H) и компактности (I/O), технологическим (выход тушки и филе) и воспроизводственным показателям.

Согласно проведенным морфометрическим промерам, гибриды африканских

сомов первого поколения характеризуются высокими индексами прогонистости (6,4 и 6,25) и компактности (0,37 и 0,36) (табл. 12).

Таблица 12 – Характеристика производителей особей первого поколения

Кол-во рыб, экз	Пол	Средняя масса, г	Индекс прогонистости <i>I/H</i>	Индекс компактности <i>I/O</i>
20	Гибриды F1 самки	1696,4±459,9	6,4±0,82	0,37±0,05
20	Гибриды F1 самцы	1945,2±260,7	6,25±0,33	0,36±0,02

Анализ воспроизводительных качеств гибридных линий представлены в таблицах 10 и 11. По результатам оценки половых продуктов самок гибридов F₁ (табл. 17), масса икринок находилась на уровне 1,53 мг, масса предличинок на 48 ч инкубации составляла не менее 1,18 мг.

Таблица 13 – Характеристика воспроизводительных качеств самок гибридов первого поколения

Показатели оценки	Самки F ₁ (n=20)	
	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>CV</i> , %
Масса икринок, мг	1,53±0,09	4,6
Масса предличинок, мг	1,18±0,05	4,2
Кол-во личинок с дефектами развития, %	18,4±0,2	1,0
Масса 9-суточных мальков, г	0,06±0,03	50
Средняя масса икры от самки, г	240,0±56,0	23,3
Процент выклева, %	72,0±15,4	21,3
Рабочая плодовитость, тыс. шт.	163,0±36,8	22,5

Количество личинок с дефектами развития возросло и составляло не менее 18%. Личинки на 9 сутки культивации демонстрировали широкую вариабельность по показателю массы (0,06±0,03 г). Процент выклева личинок находился на уровне не менее 72%. Рабочая плодовитость самок гибридов

первого поколения составляла 163 тыс. шт. икринок, а средняя масса полученной икры от самки – 240 г.

Анализ половых продуктов самцов гибридов первого поколения представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Качество половых продуктов самцов (гибриды первого поколения)

Показатели оценки	Самцы F ₁ (n=20)	
	<i>M±SD</i>	<i>CV, %</i>
Объем эякулята, мл	15,4±6,1	39,6
Активность спермиев, сек	46,3±3,2	6,9
Концентрация спермиев, млн/мм ²	23,9±4,6	19,2
Количество живых спермиев, %	95,0±6,2	6,5

Объем эякулята составил в среднем 15,4 мл. Активность спермы не менее 46,3 с. Концентрация спермиев 23,9 млн/мм². Согласно визуальной оценке, сперма африканского сома первого поколения высокого качества (количество живых спермиев составляла не менее 95%).

Сортировка мальков по размерно-массовым показателям и перевод в рыбоводные емкости осуществлялись на 30, 60 и 90 сутки выращивания. В таблице 15 представлены результаты измерений основных рыбоводных показателей при оценке молоди на 90 сут из расчета последнего перевода молоди на 60 сут.

По результатам выращивания, индивидуальная масса и длина молоди первого и второго поколений не отличалась от родительских групп и находилась на уровнях 86 г и 16,5 см. Удельная скорость роста составляла 2,4 и 2,3% для всех групп исследования. Кормовой коэффициент был несущественно снижен в группе F₁.

Таблица 15 – Рыбоводно-биологические показатели молоди африканского сома гибридных и родительских групп на 90 сут. выращивания

Показатель	Михайловская (n=50)	Таманская (n=50)	Гибриды F ₁ (2023) (n=50)	Гибриды F ₂ (2024) (n=50)
Масса, г	84,5±3,2	83,3±4,3	87,6±9,6	85,4±7,6
Длина, см	16,2±1,3	16,6±1,7	16,4±2,0	16,5±1,5
Удельная скорость роста, %	2,4	2,31	2,46	2,37
Абсолютная скорость роста, г	66,3±4,2	65,4±3,3	69,15±7,7	64,1±5,4
Среднесуточная скорость роста, г	2,2±0,04	2,1±0,06	2,6±0,08	2,21±0,04
Относительная скорость роста, %	3,4±0,5	3,1±0,3	3,5±0,4	3,0±0,3
Кормовой коэффициент, ед	1,8	1,9	1,7	1,9
Коэффициент упитанности	1,8±0,1	1,8±0,1	1,98±0,1	1,9±0,1
Выживаемость, %	91,0	91,0	95,2	92,8

Среднесуточная скорость роста была максимальна у гибридов F₁ (2,6 г против 2,2 и 2,1 у родительских линий). Показатель упитанности молоди находился на уровне 1,8. Было выявлено отличие выживаемости гибридов F₁ по сравнению с родительскими линиями на 4,2%.

3.2 Акклимация гибридной молоди к пониженным температурами водной среды

3.2.1 Гематологический профиль

Гематологическая картина крови гибридной молоди первого поколения.

Анализ гематологических параметров в диапазоне температур 25-15°C

выявил достоверные изменения содержания в крови рыб лимфоцитов, лейкоцитов и тромбоцитов (табл. 16).

Повышение встречаемости общей доли лимфоцитов наблюдалось у особей массой 50-95г в 2,7 и 3,2 раз при 17 и 15°C по сравнению к контролем ($p < 0.05$), что также подтверждается высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,7691$). Встречаемость лейкоцитов была увеличена в 2,7 и 3,2 раз при 17 и 15°C ($R^2 = 0,7433$) (рисунок 16).

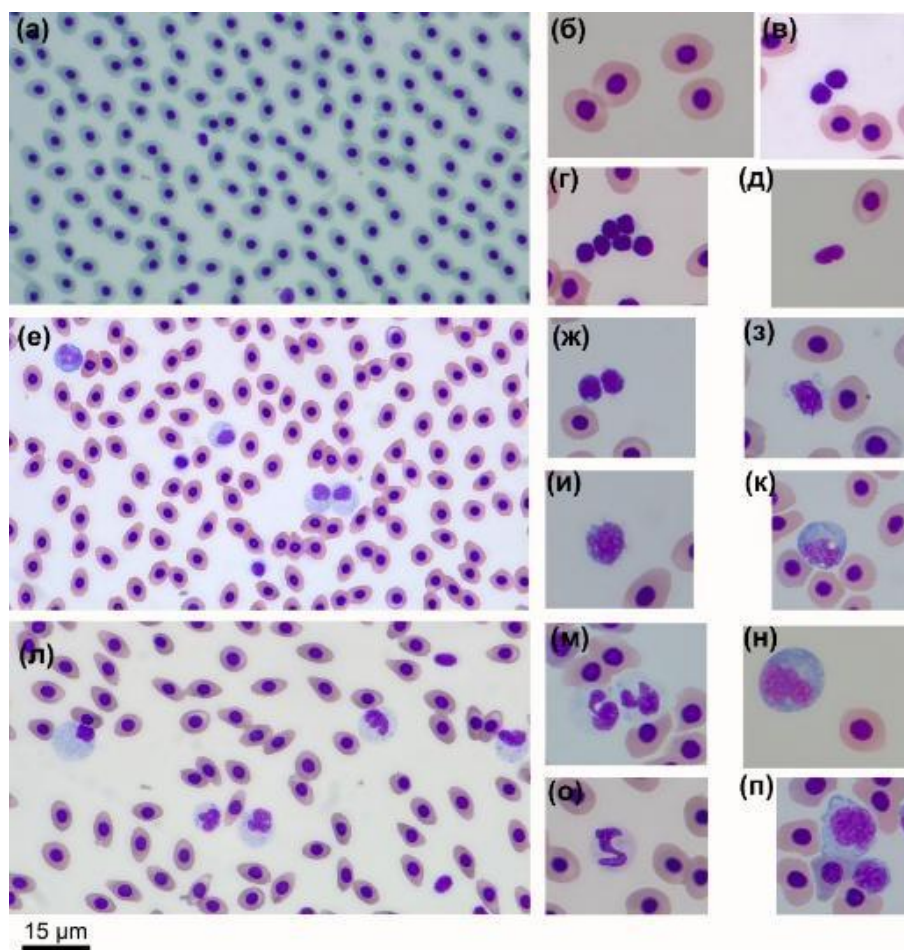


Рисунок 16 – Гематологическая картина крови молоди гибридов F1 сома массой 50-95 г в условиях различных температур содержания: *а* – мазок крови (ув. x100) особи контрольной группы; *б* – эритроциты крови сомов; *в* – голаядерные тромбоциты; *г* – овальные и округлые тромбоциты; *д* – веретеновидные тромбоциты; *е* – мазок крови гибридной особи F1 при 17°C; *ж* – малые лимфоциты крови; *з* – крупные лимфоциты крови; *и* – средние лимфоциты крови; *к* – моноциты; *л* – картина крови особи при температуре 15°C; *м* – сегментоядерные нейтрофилы; *н*, *п* – крупный моноцит; *о* – палочкоядерный нейтрофил

Уровень тромбоцитов в крови рыб был также увеличен при 15°C в 39 раз ($p < 0,05$).

Таблица 16 – Гематологические показатели гибридов первого поколения массой 50-95 г в условиях различных температур содержания

Группа	Параметр, отн.ед, %	Температура водной среды, °C				
		25 (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)
Гибриды F ₁ 50-95 г (2023)	Эритроциты	96,6 ±0,7	94,2 ±0,3	93,7 ±1,4	89,5 ±1,6	86,8 ±5,4
	Малые лимфоциты	50,8 ±10,6	61,3 ±3,9	60,8 ±3,6	62,6 ±1,9	61,5 ±3,9
	Крупные лимфоциты	26,5 ±12,8	29,6 ±1,6	32,8 ±3,5	34,4 ±1,8	34,0 ±4,0
	Моноциты	3,3 ±1,7	1,6 ±0,9	1,1 ±0,4	0,4 ±0,1	0,8 ±0,2
	Палочкоядерные нейтрофилы	0,7 ±1,1	1,7 ±1,7	2,0 ±1,3	0,7 ±0,2	0,7 ±0,4
	Нейтрофилы	1,7 ±0,5	0,7 ±0,3	0,5 ±0,2	0,2 ±0,1	0,2 ±0,1
	Сегментоядерные нейтрофилы	2,9 ±1,8	1,5 ±1,1	1,3 ±0,8	0,8 ±0,2	1,1 ±0,7
	Эозинофилы	0	1,0 ±0,2	0	0,3 ±0,1	0,7 ±0,2
	Базофилы	1,9 ±1,7	2,2 ±0,8	1,4 ±0,7	0,5 ±0,1	0,7 ±0,3
	Полихроматофильные нормобласты	0,3 ±0,2	0,1 ±0,1	0	0,3 ±0,3	0,4 ±0,4
	Оксифильные нормобласты	0,4 ±0,3	0,1 ±0,1	0	0,4 ±0,1	0,5 ±0,3
	Тромбоциты	0,1 ±0,1	2,2 ±0,7	2,0 ±0,2	2,7 ±0,3	3,9 ±2,0
	Всего лейкоцитов	2,6 ±0,4	3,3±0,2	4,3 ±1,2	7,1 ±1,1	8,4 ±2,8
	Всего лимфоцитов	2,0 ±0,8	3,0±0,1	4,1 ±1,2	6,9 ±1,0	8,0 ±2,6
	Всего эритроцитов	97,3 ±0,3	94,5 ±0,5	93,7 ±1,4	90,2 ±1,4	87,7 ±4,6

Примечание: статистическая обработка выполнена по t-критерию Стьюдента, жирным выделены значения и параметры, которые достоверно различаются от контрольных данных при $p < 0,05$

В лейкоформуле наблюдались достоверные изменения встречаемости моноцитов - их концентрация в крови у молоди F₁ снизилась в 8,25 раз при 17°C (p<0.05). Встречаемость нейтрофилов была снижена при 17 и 15°C в 8,5 раз (p<0.05).

В группе гибридов F₁ (150-200 г) количество лейкоцитов и лимфоцитов были увеличены в 3,9 и 4,1 раз при 17°C по сравнению с контролем (p<0.05) (таблица 17).

Таблица 17 – Гематологические показатели гибридов первого поколения массой 150-200 г в условиях различных температур содержания

Группа	Параметр, отн.ед, %	Температура водной среды, °C				
		25 (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)
Гибриды F ₁ 150-200 г (2023)	Эритроциты	96,6 ±0,2	93,1 ±2,9	93,7 ±0,3	93,6 ±1,5	95,7 ±1,0
	Малые лимфоциты	59,1 ±5,3	49,3 ±9,2	59,9 ±7,2	60,8 ±3,6	56,9 ±5,5
	Крупные лимфоциты	31,3 ±1,2	28,3 ±8,2	32,2 ±3,3	32,8 ±3,5	30,4 ±0,8
	Моноциты	1,6±0,9	3,2±0,6	1,4±0,7	1,1±0,4	3,2±0,4
	Палочкоядерные нейтрофилы	2,5±2,5	3,0±4,5	1,5±1,4	2,0±1,3	2,0±0,3
	Нейтрофилы	2,0±2,0	1,8±0,6	0,6±0,7	0,5±0,4	1,2±1,6
	Сегментоядерные нейтрофилы	1,1 ±0,2	8,3 ±3,1	1,3 ±0,6	1,3 ±0,4	2,9 ±1,3
	Эозинофилы	0	0,7±0,1	0,9±0,3	0	0,8±1,1
	Базофилы	1,2±1,3	1,9±0,1	1,9±0,7	1,4±0,7	1,4±0,5
	Полихроматофильные нормобласты	1,0± 0,1	0,8 ±0,5	0,1 ±0,1	0	0
	Оксифильные нормобласты	1,2 ±0,1	0,9 ±0,8	0,1 ±0,1	0	0
	Тромбоциты	0,1±0,1	0,3±0,1	0,4±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1
	Всего лейкоцитов	1,1±0,2	4,0±1,4	3,8±0,5	4,3±1,2	2,8±0,6
	Всего лимфоцитов	1,0±0,2	3,1±1,2	3,5±0,4	4,1±1,2	2,5±0,7
	Всего эритроцитов	98,7 ±0,2	94,8 ±2,0	94,0 ±0,3	93,6 ±1,5	95,8 ±1,0

Примечание: статистическая обработка выполнена по t-критерию Стьюдента, жирным выделены значения и параметры, которые достоверно различаются от контрольных данных при p<0,05

В группе F₂ была существенно повышена встречаемость тромбоцитов в 7,3 раза по отношению к контролю ($p < 0,05$). Встречаемость сегментоядерных нейтрофилов была увеличена в группе F₁ при 22°C в 7,5 раз относительно контроля (рисунок 17).

Встречаемость других форменных элементов в крови у гибридов крупной навески не претерпевала существенных изменений.

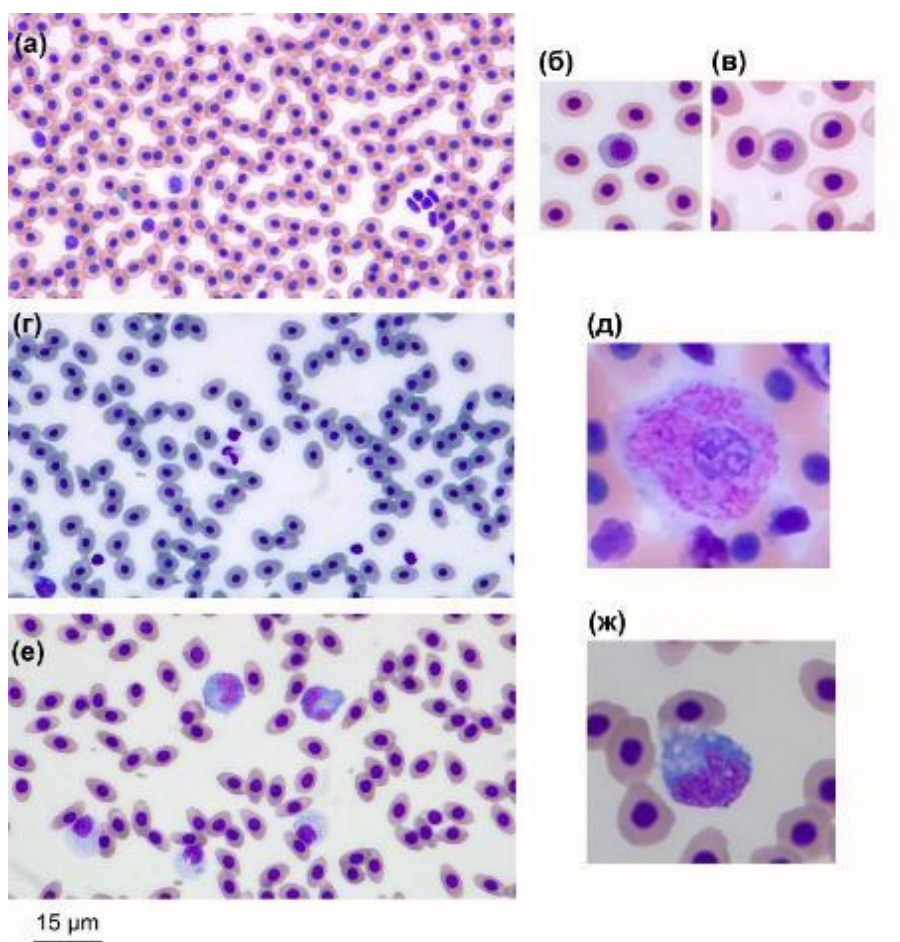


Рисунок 17 – Гематологическая картина крови молодежи гибридов F₁ сома массой 150-200 г в условиях различных температур содержания: а – мазок крови (ув. x100) особи контрольной группы; б – полихроматофильные нормобласты; в – оксифильные нормобласты; г – мазок крови гибридной особи F₁ при 17°C; д – эозинофил; е – картина крови особи при температуре 15°C; ж – базофил

Картина крови африканского сома относится к лимфоидному типу (контроль = $89,2 \pm 3,1$) (Савина и др., 2019). На протяжении опыта наблюдалось повышение доли лейкоцитов – клеток иммунной системы,

отвечающих за защитную функцию организма от вирусов, бактерий, токсинов (Иванов и др., 2013). Увеличение доли тромбоцитов при повышении температуры вероятнее всего связано с активацией компенсаторных механизмов – восстановлении свертываемости крови (Верголяс, 2016). При снижении t наблюдалось уменьшение доли в крови нейтрофилов – маркеров воспалительных процессов. Немаловажным является и увеличение встречаемости эозинофилов у гибридов F_1 (50-95 г).

Характеризуя ответную реакцию рыб на гипотермический стресс, следует отметить, что доля лимфоцитов, отвечающих за формирование общего и специфического иммунитета, повышается, а моноцитов, формирующих защиту от инфекций, по ходу эксперимента снижается.

Гематологическая картина крови гибридной молодежи второго поколения.

При пониженных температурах в группе F₂ (50-95 г) встречаемость сегментоядерных нейтрофилов была увеличена в 9 раз относительно контроля (25°C) (таблица 18). При акклимации молодежи F₂ были достоверно увеличены концентрации лейкоцитов в 3,9 раз при 17°C относительно контроля (25°C) (p<0.05) (рисунок 18).

Таблица 18 – Гематологические показатели гибридов второго поколения массой 50-95 г в условиях различных температур содержания

Группа	Параметр, отн.ед, %	Температура водной среды, °C				
		25 (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)
Гибриды F ₂ 50-95 г (2024)	Эритроциты	94,5±2,0	93,7±0,3	93,4±1,4	89,9±1,4	89,8±9,7
	Малые лимфоциты	53,0 ±9,7	62,4 ±6,1	61,4 ±2,5	63,2 ±1,7	62,7 ±1,1
	Крупные лимфоциты	29,8 ±3,9	32,1 ±4,7	33,2 ±4,2	34,0 ±1,2	32,3 ±0,6
	Моноциты	1,7±0,5	0,7±0,4	0,7±0,4	0,5±0,2	0,7±0,2
	Палочкоядерные нейтрофилы	2,1±0,5	1,5±1,5	2,0±1,3	0,7±0,2	0,7±0,2
	Нейтрофилы	2,7±1,7	0,7±0,7	0,6±0,5	0,2±0,2	0,2±0,1
	Сегментоядерные нейтрофилы	0,2±0,1	0,7±0,2	1,3±0,9	0,5±0,2	1,8±0,7
	Эозинофилы	0	0,7±0,1	0	0,3±0,3	0,7±0,2
	Базофилы	2,7±1,3	0,7±0,8	0,8±0,4	0,5±0,1	0,7±0,3
	Полихроматофильные нормобласты	0,3±0,2	0,2±0,1	0,2±0,3	0,5±0,2	0,4±0,5
	Оксифильные нормобласты	0,4±0,2	0,2±0,1	0,2±0,3	0,5±0,2	0,4±0,5
	Тромбоциты	1,6±0,9	2,3±0,4	2,2±0,4	2,6±0,3	3,1±2,9
	Всего лейкоцитов	3,2±1,0	3,6±0,5	4,2±1,3	6,6±1,0	6,2±3,9
	Всего лимфоцитов	2,7±0,8	3,4±0,4	3,9±1,3	6,4±1,0	6,0±5,7
	Всего эритроцитов	95,2 ±1,9	94,1 ±0,2	93,7 ±1,7	90,8 ±1,3	90,6 ±8,8

Примечание: статистическая обработка выполнена по t-критерию Стьюдента, жирным выделены значения и параметры, которые достоверно различаются от контрольных данных при p<0,05

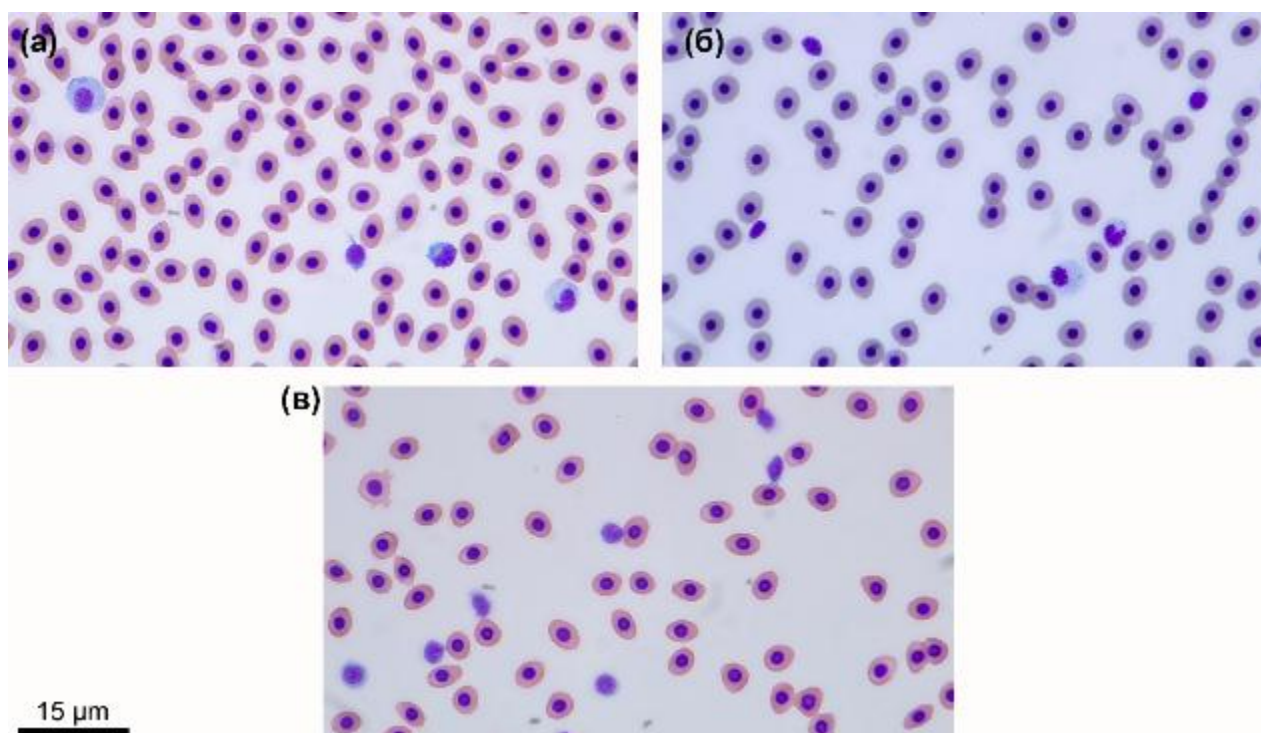


Рисунок 18 – Гематологическая картина крови молоди гибридов F_2 сома массой 50-95 г в условиях различных температур содержания: а – мазок крови (ув. $\times 100$) особи контрольной группы; б – мазок крови гибридной особи F_2 при 17°C ; в – картина крови особи при температуре 15°C

При этом, у гибридной группы второго поколения (150-200 г) значительно были повышены только тромбоциты (в 7,3 раза при 20°C) (табл. 19).

Встречаемость других форменных элементов в крови африканских сомов не претерпевала изменений на протяжении опыта по акклимации (в т.ч. малые и крупные лимфоциты, палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, базофилы и общее число эритроцитов).

Таблица 19 – Гематологические показатели гибридов второго поколения массой 50-95 г в условиях различных температур содержания

Группа	Параметр, отн.ед, %	Температура водной среды, °C				
		25 (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)
Гибриды F ₂ 150-200 г (2024)	Эритроциты	95,7±0,7	91,7±3,2	93,8±0,4	93,5±1,7	95,4±0,5
	Малые лимфоциты	60,0±7,1	61,0±8,1	61,5±4,5	60,8±3,4	60,6±2,1
	Крупные лимфоциты	32,1±3,0	29,9±5,3	32,9±3,8	32,7±3,8	29,6±3,8
	Моноциты	1,2±1,2	1,2±0,4	1,1±0,3	0,9±0,3	2,7±0,7
	Палочкоядерные нейтрофилы	1,5±0,8	0,2±0,4	0,5±0,4	1,0±0,8	1,6±0,3
	Нейтрофилы	1,7±1,8	1,2±0,7	0,6±0,8	0,5±0,4	0,5±0,7
	Сегментоядерные нейтрофилы	1,6±0,9	3,8±0,8	0,8±0,1	1,4±0,3	2,3±0,4
	Эозинофилы	0	0,8	0,9±0,3	1,7±0,6	1,4±0,7
	Базофилы	1,0±1,2	0,5±0,2	1,3±0,5	0,8±0,4	1,1±0,1
	Полихроматофильные нормобласты	1,1±0,2	1,0±0,7	0,2	0	0,1
	Оксифильные нормобласты	1,4±0,1	1,3±1,1	0,3±0,1	0,2±0,1	0,1±0,1
	Тромбоциты	0,3±0,1	1,8±0,6	2,2±0,2	2,1±0,4	1,3±0,4
	Всего лейкоцитов	1,4±0,4	4,3±1,5	3,5±0,6	4,2±1,3	3,1±0,1
	Всего лимфоцитов	1,3±0,4	3,9±1,5	3,3±0,5	3,9±1,2	2,8±0,1
	Всего эритроцитов	98,3±0,5	93,9±2,1	94,3±0,5	93,7±1,6	95,7±0,6

Примечание: статистическая обработка выполнена по t-критерию Стьюдента, жирным выделены значения и параметры, которые достоверно различаются от контрольных данных при $p < 0,05$

3.2.2 Биохимические механизмы акклимации

Концентрация креатинина при температуре 20°C была снижена в 1,9 раз по сравнению с контрольными данными при 25°C ($p < 0,05$) (табл. 20) у гибридов первого поколения. Некоторые маркеры функции печени (АСТ и АЛТ) и альбумин не изменялись. Концентрации общего белка и глобулина у молоди массой 50-95 г демонстрировали зависимость относительно

температур содержания. Коэффициент детерминации (R^2) для данных показателей составил 0,7061 и 0,7316 (рис. 19 а и б) для гибридов первого поколения, и 0,6157 и 0,6602 (рис. 19 ж и з) для гибридов второго поколения. Значительное снижение этих показателей в 1,6 и 2 раза ($p < 0,05$) наблюдалось при 15°C в группе F₁ (50-95 г) (табл. 20) и группе F₂ (50-95 г) в 1,54 и 1,87 раз ($p < 0,05$) (табл. 21) (Климук и др., 2025а).

Отклонения были зафиксированы в параметрах щелочной фосфатазы и лактатдегидрогеназы. Уровень ЩФ был значительно повышен при температуре 15°C – на 204 % выше контрольных данных. Увеличение активности ЩФ может указывать на сдвиг в сторону альтернативных энергетических путей, когда нормальное производство АТФ нарушается из-за стрессовых условий. Стресс, вызванный пониженной температурой водной среды, может вызвать изменения в метаболических потребностях организма, вызывая более высокие уровни ЩФ как часть компенсаторного механизма для поддержания энергетического гомеостаза. Уровни ЛДГ в сыворотке крови гибридов первого поколения (50-95 г) демонстрировали существенное увеличение относительно контроля при 17 и 15°C в 4 раза (+305 и 303 % соответственно). В группе F₂ (50-95 г) уровень ЛДГ находился выше контроля при 22°C и 15°C в 2,83 и 2,9 раз соответственно (таблица 25). Во время холодового стресса у рыб может снижаться доступность кислорода или эффективность его использования из-за снижения скорости метаболизма и потенциальной гипоксии (Климук и др., 2025а).

По сравнению с 25°C, содержание кортизола в сыворотке крови молоди первого поколения (50-95 г), содержащейся при температурах 17 и 15°C было значительно увеличено ($p < 0,05$). Концентрация кортизола в сыворотке при 17°C в 5,69 раз превышала контрольные данные, при 15°C – 8,3 раза, что также подтверждается высоким коэффициентом корреляции ($R^2 = 0,7850$) (рис. 19 в). Уровень кортизола в группе гибридов F₂ (50-95 г) также было значительно увеличено при 17°C в 5,48 раз, при 15°C – в 6,9 раз ($R^2 = 0,8483$) (рис. 19 и).

Таблица 20 – Концентрации основных биохимических показателей в сыворотке крови у гибридной молодежи F1 *C. gariepinus* массой 50-95 г при различных температурах содержания

Параметр	Температура водной среды, °C					P value
	25 (контроль)	22	20	17	15	
Биохимические маркеры состояния печени						
АСТ, ед/л	190,7 ±90,3	180,9 ±54,8	124,2 ±30,9	99,2 ±22,4	624,6 ±145,7	p>0,05
АЛТ, ед/л	57,4 ±17,3	56,2 ±8,2	61,8 ±1,9	47,6 ±11,1	46,7 ±15,3	p>0,05
Щелочная фосфатаза, ед/л	47,8 ±19,0 ^b	85,3 ±32,9 ^{ab}	120,8 ±48,1 ^{ab}	47,6 ±13,9 ^b	145,6 ±26,1 ^a	0,0008
ЛДГ, ед/л	203,0 ±68,6 ^b	559,8 ±121,5 ^b	160,2 ±30,9 ^b	824,0 ±68,0 ^a	822,4 ±63,8 ^a	0,0005
Биохимические маркеры состояния почки						
Мочевина, ммоль/л	1,8 ±0,2	1,3 ±0,3	1,6 ±0,1	1,3 ±0,2	1,8 ±0,6	p>0,05
Креатинин, мкмоль/л	22,8 ±4,2 ^a	11,9 ±1,0 ^b	12,5 ±2,4 ^{ab}	25,7 ±8,2 ^{ab}	29,8 ±9,2 ^{ab}	0,0026
Биохимические маркеры белкового обмена						
Общий белок, г/л	37,8 ±4,9 ^a	34,9 ±1,7 ^a	28,4 ±2,8 ^{ab}	27,7 ±4,6 ^{ab}	23,2 ±0,8 ^b	0,0007
Альбумин, г/л	12,3 ±0,9	11,9 ±0,4	10,7 ±1,0	10,6 ±0,9	10,6 ±0,9	p>0,05
Глобулин, г/л	25,5 ±4,0 ^a	23,0 ±1,4 ^a	17,7 ±2,4 ^{ab}	17,1 ±3,6 ^{ab}	12,2 ±0,8 ^b	0,0005
Биохимические маркеры стресс-реакции						
Глюкоза, ммоль/л	7,4±1,7 ^a	1,9±0,2 ^{ab}	1,1±0,3 ^b	2,0±0,4 ^b	2,6±0,3 ^{ab}	0,0008
Кортизол, нмоль/л	156,2 ±37,6 ^b	612,0 ±123,3 ^b	726,2 ±181,9 ^b	889,0 ±210,0 ^a	1292,4 ±292,3 ^a	0,0007

Значение p было рассчитано на массиве данных с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса при $p<0,05$; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

Уровень глюкозы в сыворотке крови молодежи первого поколения (50-95 г) варьировал в зависимости от температур – при 20°C концентрация значительно снижалась относительно 25°C – в 6,7 раз ($p<0,05$). При температуре 17°C ниже контроля в 3,7 раз ($p<0,05$).

Таблица 21 – Концентрации основных биохимических показателей в сыворотке крови у гибридной молодежи F2 *C. gariepinus* массой 50-95 г при различных температурах содержания

Параметр	Температура водной среды, °C					P value
	25	22	20	17	15	
Биохимические маркеры состояния печени						
АСТ, ед/л	124,7 ±16,2	140,3 ±14,2	125,3 ±30,1	111,2 ±12,1	124,6 ±44,4	p>0,05
АЛТ, ед/л	47,1 ±27,8	54,1 ±3,2	41,9 ±1,1	57,6 ±1,1	48,4 ±5,8	p>0,05
Щелочная фосфатаза, ед/л	57,3 ±15,5	81,8 ±29,9	123,4 ±58,5	87,6 ±15,4	88,1 ±36,0	p>0,05
ЛДГ, ед/л	194,7 ±16,4 ^b	552,3 ±17,4 ^a	179,7 ±17,0 ^b	434,7 ±93,8 ^{ab}	568,0 ±11,8 ^a	0,0007
Биохимические маркеры состояния почки						
Мочевина, ммоль/л	1,3 ±0,2	1,2 ±0,3	1,8 ±0,1	1,8 ±0,2	1,9 ±0,6	p>0,05
Креатинин, мкмоль/л	22,4 ±8,1	18,3 ±2,2	13,4 ±2,7	22,7 ±3,2	28,1 ±8,1	p>0,05
Биохимические маркеры белкового обмена						
Общий белок, г/л	35,9 ±2,6 ^a	35,2 ±2,1 ^a	28,4 ±4,0 ^{ab}	27,8 ±2,1 ^b	23,3 ±1,5 ^b	0,0005
Альбумин, г/л	11,5 ±0,3	11,8 ±0,5	12,1 ±1,5	11,8 ±0,8	11,7 ±0,3	p>0,05
Глобулин, г/л	23,8 ±1,7 ^a	23,2 ±1,9 ^a	18,3 ±3,2 ^{ab}	18,0 ±4,0 ^{ab}	12,7 ±0,5 ^b	0,0011
Биохимические маркеры стресс-реакции						
Глюкоза, ммоль/л	5,1 ±1,1	4,9 ±0,1	5,1 ±0,3	6,1 ±0,7	3,3 ±1,9	p>0,05
Кортизол, нмоль/л	154,4 ±32,2 ^c	182,3 ±47,5 ^b	596,7 ±40,1 ^{ab}	846,3 ±179,4 ^a	1071,7 ±171,6 ^a	0,0001

Значение p было рассчитано на массиве данных с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса при $p<0,05$; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

Резкое снижение может быть объяснено израсходованием свободной глюкозы в крови за счет мобилизации организма, а постепенное увеличение при 17 и 15°C говорит о работе резервных запасов и расщеплении гликогена

в печени. В том числе, повышение уровня кортизола стимулирует пути глюконеогенеза и гликогенолиза, что приводит к увеличению уровня глюкозы для удовлетворения потребности в энергии, вызванной стрессом (Климук и др., 2025а).

Некоторые биохимические параметры (мочевина, креатинин, АСТ, АЛТ, ЩФ и ЛДГ) не демонстрировали существенных изменений в группе молоди массой 150-200 г относительно температур (20-15°C) у гибридов первого и второго поколений (табл. 22 и 23). Уровни общего белка и глобулина при 15°C были значительно снижены у особей первого поколения по сравнению с контролем в 1,4 и 1,6 раз, что соответствует понижению на 60 и 70%, соответственно (табл. 22). Содержание глобулинов в крови также демонстрировало зависимость от температуры – при 17°C концентрация снизилась в 1,5 раза ($p < 0,05$). Для показателей содержания общего белка и глобулина у групп первого и второго поколений было выявлено значимое отличие угла наклона регрессивной прямой от нуля ($p < 0,001$) при низком коэффициенте детерминации (F_1 : $R^2 = 0,4939$ и $0,4732$) (рис. 19 *г* и *д*); (F_2 : $R^2 = 0,4429$ и $R^2 = 0,6850$) (рис. 19 *к* и *л*).

Исходя из полученных данных регрессионного анализа, уровень кортизола в крови рыб двух гибридных групп существенно изменялся под воздействием температур содержания ($R^2 = 0,8270$ и $0,8876$) (рис. 19 *е* и *м*). В группе гибридов F_1 можно отметить постепенное увеличение концентрации кортизола в нисходящих температурах: при 17°C уровень повысился в 4,8 раз (+381,7%), при 15°C – в 5,67 раз (+467,2%) относительно контроля, соответственно ($p < 0,05$).

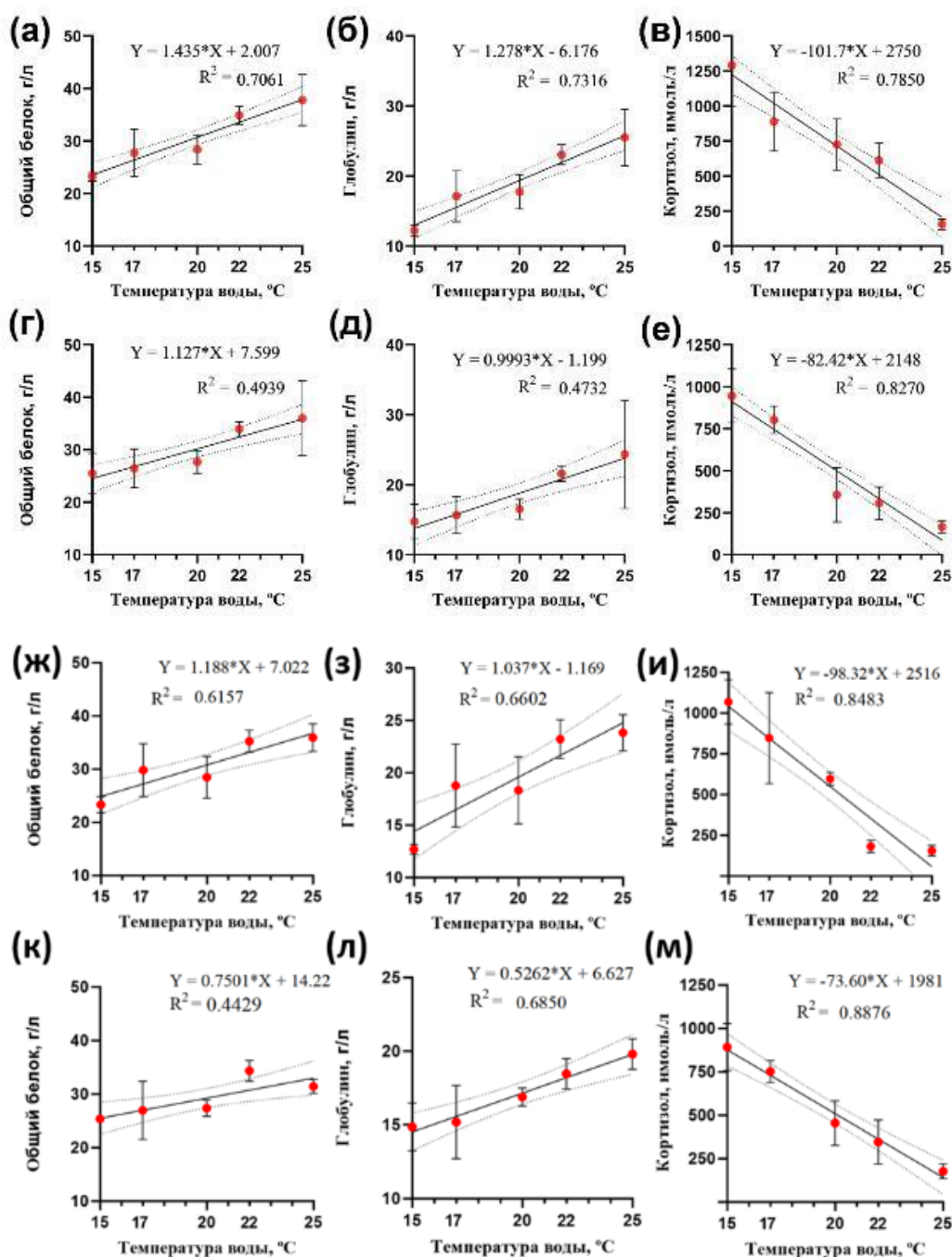


Рисунок 19 – Результаты линейно-регрессионного анализа биохимических показателей при пониженных температурах: а – конц. общего белка в группе 50-95 F_1 , б – конц. глобулинов в группе 50-95 F_1 , в – конц. кортизола в группе 50-95 F_1 , г – конц. общего белка в группе 150-200 F_1 , д – конц. глобулина в группе 150-200 F_1 , е – конц. кортизола в группе 150-200 F_1 ; ж – конц. общего белка в группе 50-95 F_2 , з – конц. глобулинов в группе 50-95 F_2 , и – конц. кортизола в группе 50-95 F_2 , к – конц. общего белка в группе 150-200 F_2 , л – конц. глобулина в группе 150-200 F_2 , м – конц. кортизола в группе 150-00 F_2

Существенное изменение его концентрации в группе F₂ наблюдается при 15°C в 5 раз ($p < 0.05$). Содержание глюкозы в крови молоди F₁ (150-200 г) характеризовалось разнонаправленной динамикой: при 20°C ее концентрация была ниже контроля в 4 раза, тогда как при 15°C только в 2,14 раз ($p < 0,05$).

Таблица 22 – Концентрации основных биохимических показателей в сыворотке крови у молоди F1 *C. gariepinus* массой 150-200 г при различных температурах содержания

Параметр	Температура водной среды, °C					P value
	25 (контроль)	22	20	17	15	
Биохимические маркеры состояния печени						
АСТ, ед/л	115,0 ±31,9	198,5 ±56,4	201,6 ±98,7	54,7 ±16,0	144,8 ±70,9	p>0,05
АЛТ, ед/л	47,1 ±13,8	50,3 ±10,4	56,8 ±21,4	23,5 ±9,8	50,6 ±19,2	p>0,05
Щелочная фосфатаза, ед/л	31,8 ±11,4	30,4 ±10,7	44,2 ±17,5	28,6 ±11,3	33,7 ±19,4	p>0,05
ЛДГ, ед/л	305,0 ±90,8	301,8 ±92,8	259,8 ±91,4	201,3 ±70,8	785,2 ±62,6	p>0,05
Биохимические маркеры состояния почки						
Мочевина, ммоль/л	1,6 ±0,2	1,5 ±0,4	1,6 ±0,3	2,4 ±0,6	1,4 ±0,2	p>0,05
Креатинин, мкмоль/л	9,3 ±3,3	8,7 ±3,8	6,3 ±1,7	23,3 ±6,7	24,0 ±2,8	p>0,05
Биохимические маркеры белкового обмена						
Общий белок, г/л	36,0 ±7,2 ^a	33,9 ±1,4 ^a	27,7 ±2,2 ^{ab}	26,5 ±3,7 ^b	25,5 ±3,8 ^b	0,0011
Альбумин, г/л	11,7 ±1,0	12,4 ±1,8	11,1 ±1,3	10,8 ±1,4	10,8 ±1,5	p>0,05
Глобулин, г/л	24,4 ±7,7 ^a	21,6 ±1,1 ^a	16,6 ±1,4 ^{ab}	15,7 ±2,6 ^b	14,8 ±2,5 ^b	0,0004
Биохимические маркеры стресс-реакции						
Глюкоза, ммоль/л	4,5 ±1,0 ^a	2,2 ±0,1 ^{ab}	2,1 ±0,3 ^b	2,2 ±0,4 ^{ab}	2,1 ±0,2 ^b	0,0001
Кортизол, нмоль/л	166,8 ±36,3 ^b	307,7 ±96,9 ^b	357,0 ±161,8 ^{ab}	803,5 ±81,7 ^a	946,2 ±159,4 ^a	<0,0001

Значение p было рассчитано на массиве данных с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса при $p < 0,05$; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

Таким образом, высокая степень акклимации африканского клариевого

сома к холодноводным условиям (20-17°C) может быть достигнута путем использования щадящих режимов понижения температуры (<2°C/сут) с удлинёнными временными промежутками адаптации.

Таблица 23 – Концентрации основных биохимических показателей в сыворотке крови у молоди F2 *C. gariepinus* массой 150-200 г при различных температурах

Параметр	Температура водной среды, °C					P value
	25 (контроль)	22	20	17	15	
Биохимические маркеры состояния печени						
АСТ, ед/л	127,8 ±22,4	184,1 ±55,9	181,5 ±68,1	104,8 ±12,1	134,3 ±50,9	p>0.05
АЛТ, ед/л	33,2 ±12,4	44,4 ±11,3	58,1 ±11,1	43,5 ±4,7	40,6 ±12,2	p>0.05
Щелочная фосфатаза, ед/л	21,8 ±1,5	33,1 ±1,7	42,7 ±7,7	29,1 ±1,8	31,0 ±9,5	p>0.05
ЛДГ, ед/л	276,3 ±14,4 ^b	247,0 ±15,5 ^b	235,3 ±18,7 ^b	140,8 ±15,5 ^c	439,7 ±51,7 ^a	0.0005
Биохимические маркеры состояния почки						
Мочевина, ммоль/л	1,6 ±0,2	1,5 ±0,4	1,6 ±0,3	2,4 ±0,6	1,4 ±0,2	p>0.05
Креатинин, мкмоль/л	6,0 ±2,6 ^b	9,3 ±4,4 ^b	6,5 ±2,0 ^b	6,4 ±1,6 ^b	22,0 ±2,0 ^a	0.0007
Биохимические маркеры белкового обмена						
Общий белок, г/л	32,8 ±8,4	31,0 ±1,3	28,9 ±3,2	24,1 ±2,7	29,8 ±3,8	p>0.05
Альбумин, г/л	12,0 ±1,5	10,4 ±1,9	10,1 ±1,0	14,8 ±1,0	12,4 ±0,5	p>0.05
Глобулин, г/л	19,8 ±1,0 ^a	18,4 ±1,0 ^a	16,9 ±0,6 ^{ab}	15,2 ±2,4 ^{ab}	14,8 ±1,6 ^b	0.0001
Биохимические маркеры стресс-реакции						
Глюкоза, ммоль/л	4,4 ±1,1	3,9 ±0,5	3,1 ±0,5	3,2 ±0,4	4,1 ±0,5	p>0.05
Кортизол, нмоль/л	176,1 ±42,7 ^c	345,0 ±27,6 ^b	454,7 ±27,7 ^{ab}	751,7 ±63,3 ^{ab}	892,3 ±135,7 ^a	<0.0001

Значение p было рассчитано на массиве данных с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса при $p<0,05$; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

Быстрое понижение температуры приводит к снижению жизнестойкости, но рыбы, подвергнутые длительной акклиматизации, как правило, оказываются несколько лучше приспособленными к холодным температурам.

Любые изменения температуры для рыб являются стрессовыми (Климук и др., 2025а). Для компенсации негативного воздействия в холодных температурах рыбы, обычно, замедляют энергетический метаболизм аминокислот, углеводов и липидов (Zhou et al., 2019), что сказывается и на иммунной системе (снижения сопротивляемости к бактериальным и вирусным инфекциям), скорости роста и выживаемости (Reid et al., 2022). Низкая температура может регулировать уровни кортизола, адреналина, катехоламина, норадреналина и агонистов адреналина в крови, тем самым подавляя фагоцитоз лейкоцитов и снижая уровень антител (Chen et al., 2002). Тем не менее, короткие периоды стрессового воздействия могут быть компенсированы организмом рыб без значительных потерь благодаря мобилизационно-приспособительной стратегии метаболизма и изменений энзиматической активности ферментов (Panerucci et al., 2000; Petitjean et al., 2019).

Исследование биохимических параметров показало общую нисходящую тенденцию уровней общих белков и глобулинов в сыворотке крови сомов двух размерно-массовых групп. Можно предположить, что пониженные температуры содержания вызывают истощение энергетических запасов для регуляции метаболизма и поддержания гомеостаза. Восходящие концентрации гормона кортизола в ответ на понижение температур в двух группах исследования говорит о явной ответной реакции рыб на пониженные температуры (17 и 15°C). По данным, представленным в работе Н. J. Jeong с коллегами, у особей *Pagrus major* в температурах ниже 10°C уровни кортизола и общего белка также существенно реагировали на стресс от пониженных температур (Jeong et al., 2021). Эти результаты показывают, что некоторые физиологические биомаркеры имеют температурно-

специфические уровни в крови.

Для ряда биохимических показателей крови была выявлена нелинейная зависимость от температуры содержания (АСТ, АЛТ, щелочная фосфатаза, лактатдегидрогеназа, креатинин, глюкоза). Данное явление прослеживалось как в группе молоди массой 50-95 г, так и у молоди массой 150-200 г. Ранее для рыб была продемонстрирована нелинейная зависимость активности пищеварительных ферментов от температуры окружающей среды что было непосредственно связано с экологией конкретного вида рыб (Кузьмина, 2017; Nikiforov-Nikishin et al., 2021). Можно предположить, что для африканского клариевого сома активность ряда ферментов в сыворотке крови при понижении температуры изменяется как в ответ на адаптационно-приспособительные реакции, так и на хроническое воздействие стресса.

Печень у рыб является жизненно важным органом, участвующим в нескольких физиологических функциях, таких как метаболический гомеостаз, синтез сывороточного белка и детоксикация организма (Климук и др., 2024а). В текущем исследовании разновозрастных групп африканского сома, содержащихся в пониженных температурах, наблюдались изменения в ферментной активности. Результаты измерения ЛДГ и ЩФ в группе молоди массой 50-95 г показало значительные повреждения тканей печени, сопровождающийся активизацией процессов анаэробного гликолиза в клетках при 17 и 15°C. Во время холодового стресса у рыб может снижаться доступность кислорода или эффективность его использования из-за снижения скорости метаболизма и потенциальной гипоксии. Это может привести к увеличению зависимости от анаэробного гликолиза для производства энергии, что в свою очередь повышает активность ЛДГ, как это наблюдалось после воздействия гипоксии, когда активность ЛДГ слизи кожи и лактат были значительно увеличены (Vakili et al., 2021). Кроме вышеперечисленного, того, низкотемпературный стресс может привести к повреждению тканей или повышению проницаемости клеточной мембраны, что приводит к попаданию внутриклеточных ферментов, таких как ЛДГ, в

кровоток (Zhu et al., 2024). Увеличение активности ЩФ может указывать на сдвиг в сторону альтернативных энергетических путей, когда нормальное производство АТФ нарушается из-за стрессовых условий (Gabriel et al., 2012). Таким образом, стресс, вызванный пониженной температурой водной среды, может вызвать изменения в метаболических потребностях организма, вызывая более высокие уровни ЩФ как часть компенсаторного механизма для поддержания энергетического гомеостаза (Климук и др., 2025а).

Изменения активности АЛТ и АСТ часто используются в качестве индикаторов нарушения функции печени (Lemaire et al., 1991). Полученные в данной работе результаты не показали каких-либо изменений в активности этих ферментов в крови африканских сомов при разных температурах содержания. Однако этот вывод не согласуется с данными, полученными в некоторых исследованиях. У нильской тилапии при температуре воды 13,0°C наблюдалось резкое возрастание концентраций печеночных ферментов АСТ и АЛТ, что говорит о нарушениях функции этого органа (Refaey et al., 2023). Подобные отличия чувствительности могут быть объяснены высокой приспособляемостью сомов к различным условиям содержания. Данный вывод может затрагивать и концентрацию мочевины. В работе T. Zhou et al. (2019) показано, что уровень мочевины был значительно увеличен при низкотемпературном стрессе у нильской тилапии, сигнализируя о повреждении функции почек для данного вида. В другой работе, радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*), акклиматизированная к 9°C, была подвергнута воздействию воды температурой 1,8±1,0°C в течение 30 сут (Lahnsteiner, Dünser, 2024). Активность сывороточной АСТ и АЛТ увеличилась на 90% и 230% соответственно, что указывало на нарушение функций печени. Данные результаты у холодноводной форели могли быть достигнуты за счет иных стрессоров, либо объясняться малой степенью адаптивной приспособленности организма.

Результаты данного исследования показывают, что концентрации мочевины, альбумина, аспартатаминотрансферазы и

аланинаминотрансферазы в сыворотке крови африканских сомов разных размерно-массовых групп не подвергались изменениям в условиях понижения температур (25-15°C).

Хорошо известно, что уровни кортизола и глюкозы в сыворотке крови являются физиологическими маркерами, часто используемыми в качестве индикаторов стресса у рыб (Sadoul and Geffroy, 2019). Согласно результатам данной работы, уровень глюкозы в сыворотке крови сомов разных размерно-массовых групп демонстрировал схожие данные при 20°C ($1,1 \pm 0,3$ ммоль/л), при 17 и 15°C находился на уровне 2 ммоль/л, тогда как концентрация кортизола стремительно увеличивалась. Столь резкое снижение быть объяснено быстрым израсходованием свободной глюкозы в крови за счет мобилизации организма, а постепенное увеличение при 17 и 15°C говорит о работе резервных запасов и расщеплении гликогена в печени. В том числе, повышение уровня кортизола стимулирует пути глюконеогенеза и гликогенолиза (Iwama et al., 1999), что приводит к увеличению уровня глюкозы для удовлетворения потребности в энергии, вызванной стрессом. Похожие результаты по кортизолу и глюкозе подтвердили результаты у молоди *Colossoma macropomum* (Gomes et al., 2003), молоди *Brycon amazonicus* (de Abreu et al., 2008), *Cyprinus carpio* L. (Dobšikova et al., 2009), *Danio rerio* (Dhanasiri et al., 2013) и *Labeo rohita* (Pakhira et al., 2015), подвергнутым стрессу.

Подводя итог, сила компенсации и адаптации рыб к пониженным температурам может быть зависима от возраста и вида рыбы. Повышенные концентрации печеночных ферментов (ЩФ, ЛДГ), кортикостероидов (кортизол), истощение энергетических запасов (общего белка, глюкозы) наблюдаемые в сыворотке крови молодых сомов массой 50-90 г при 17 и 15°C указывают на неспособность организма молоди к полноценному компенсированию холодового воздействия в краткосрочном опыте с постепенным режимом понижения температур (2°C/сут).

У рыб тепловая акклиматизация обычно определяется метаболическими

изменениями, в ходе которых за начальным периодом термического стресса следует постепенная компенсация (Lermen. et al., 2004). Когда достигается стабильный уровень метаболизма, соответствующий предыдущему и новому термическому состоянию, животное считается полностью акклиматизированным (Maricondi-Massari et al., 1998). Можно предположить, что высокая степень акклимации африканского клариевого сома к холодноводным условиям (20-17°C) может быть достигнута путем использования щадящих режимов понижения температуры (<2°C/сут) с удлиненными временными промежутками адаптации. Эти предположения обоснованы выводами в работе Q. H. Abram с коллегами (2017) о том, что изменение температуры воды на 3°C может негативно повлиять на один вид рыб и при этом не оказать никакого влияния на многие другие. Подтверждено, что быстрое понижение температуры приводит к снижению жизнестойкости, но рыбы, подвергнутые длительной акклиматизации, как правило, оказываются несколько лучше приспособленными к работе с холодными температурами (Климук и др., 2025а). В качестве примера можно привести *Labrus bergylta*, у которого после длительной акклимации, наблюдался сдвиг зон температурной толерантности: 7,9-16,8°C до 3,4 °C-22,8°C (Palma et al., 2025).

3.2.3 Гистологические изменения тканей

На начало опытов, при оптимальной температуре содержания, на срезах кожных покровов рыб были заметны четко различимые слои слагающие кожные покровы рыб – слой эпителия, включающий несколько слоев эпителиоцитов, бокаловидные и колбовидные клетки, а также толстый слой дермы, состоящий из упорядоченного коллагенового волокна и ретикулярных клеток (рис. 20, а). Снижение температуры до 20°C не оказывало существенно влияния на строение покровных тканей клариевого сома. Понижение температуры до 17°C приводило к увеличению числа

бокаловидных и клубковых клеток в эпидермисе в группе F₁ 150-200 г (рис. 20, б). Подобные изменения также отмечались у группы F₁ 50-95 г (рис. 20, в). При этом, особи второго поколения демонстрировали отличную реакцию – у группы F₂ 150-200 г отмечался рост числа бокаловидных клеток, а у группы F₂ 90-95 г было установлено снижение толщины эпителиального слоя и увеличение числа клубковых клеток (рис. 20, г).

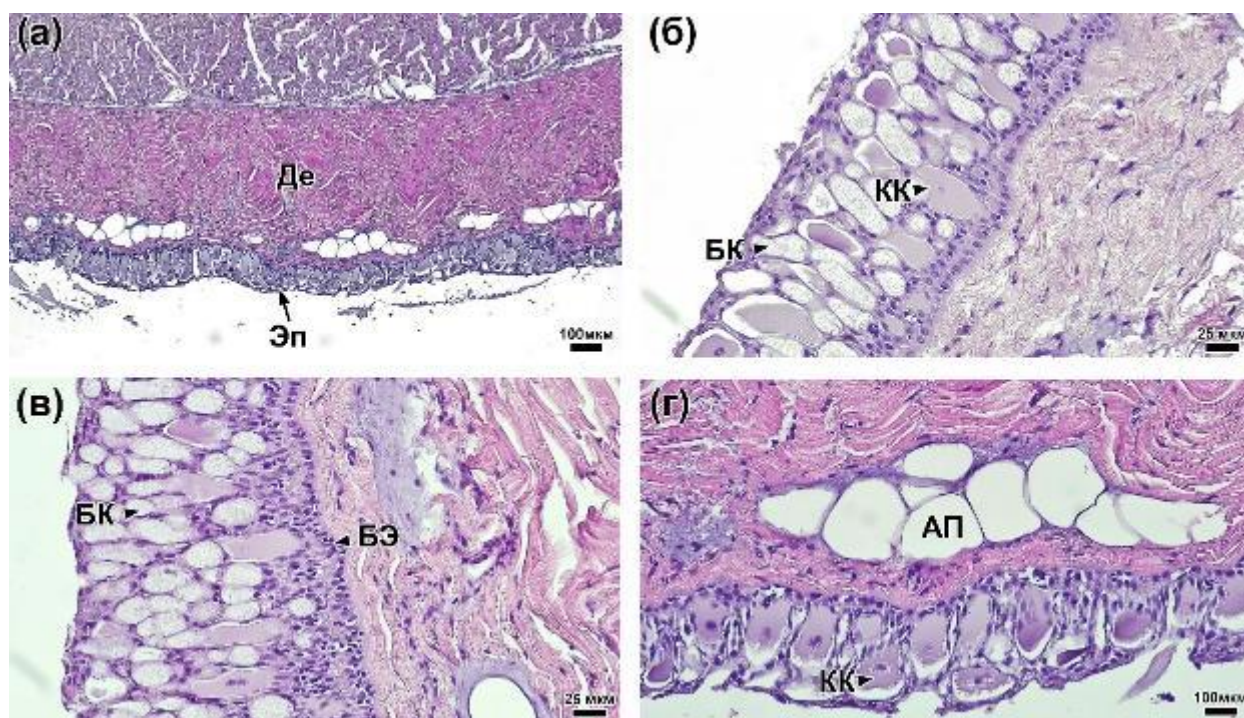


Рисунок 20 – Гистологические срезы покровных тканей клариевого сома после гипотермического стресса групп F₁ 150-200 г (а), F₁ 150-200 г (б), F₁ 90-95 г (в), F₂ 90-95 г (г). Сокращения: ЭП – эпителий, Де – дрема, БК – бокаловидная клетка, КК – клубковые клетки, БЭ – базальные эпителиоциты, АП – адипоцит

Исследование структуры тканей кишечника среднего отдела всех изучаемых групп рыб при температуре содержания более 20°C не выявило значительных отклонений. На гистологических срезах просматривались мышечная и слизистая оболочка, которая формировала множественные складки. Слой слизистой состоял из призматических эпителиоцитов и бокаловидных клеток, расположенных на базальной мембране и собственной пластинке слизистой (рис. 21, а).

Важно отметить, что группы F_1 и F_2 150-200 г не имели выраженных морфологических отклонений в структуре тканей кишечника при всех исследуемых температурах содержания (рис. 21, б). В свою очередь, в группах 50-95 F_1 и F_2 на гистологических срезах кишечника наблюдалось уменьшение высоты призматического эпителия и увеличение числа интерэпителиальных лимфоцитов (рис. 21, в). Дополнительно на некоторых участках кишечника особей сома данных групп отмечалось расширение собственной оболочки слизистой, что может указывать на интерстициальный отек (рис. 21, г).

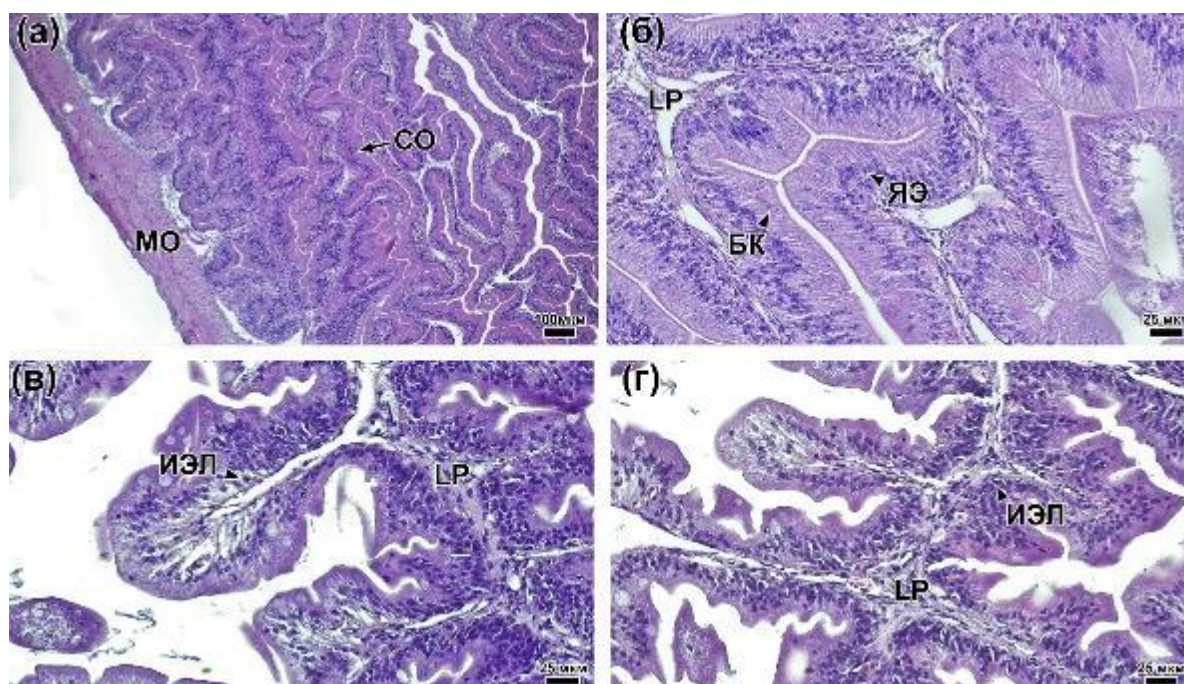


Рисунок 21 – Гистологические срезы среднего отдела кишечника клариевого сома после гипотермического стресса групп F_1 150-200 г (а), F_2 150-200 г (б), F_1 90-95 г (в), F_2 90-95 г (г). Сокращения: МО – мышечная оболочка, СО – слизистая оболочка, БК – бокаловидные клетки, ЯЭ – ядро эпителиоцита, ИЭЛ – интраэпителиальный лимфоцит, LP – lamina propria (собственная пластинка слизистой)

Печень, как орган, играющий роль метаболического центра, продемонстрировал существенные морфологические изменения в ответ на изменение температуры внешней среды. Умеренное снижение температуры (<20 °C) не оказывало значимого влияния на структуру тканей печени.

Гепатоциты, обладающие умеренно амфифильной цитоплазмой и круглым базофильным ядром были организованы в анастомотические дольки, разделенные синусоидными капиллярами (рис. 22, а). На срезах органа также обнаруживались отдельные сосудистые капилляры и желчные протоки.

В отличие от других изучаемых органов, понижение температуры водной среды до 17°C не привело к развитию выраженных изменений в ткани печени (рис. 22. б). При этом, снижение температуры до 15°C вызывало нарушения в структуре и организации печени, выраженные в вакуолизации цитоплазмы гепатоцитов, что было выявлено у всех исследуемых размерно-массовых гибридных групп клариевых сомов (рис. 22, в, г).

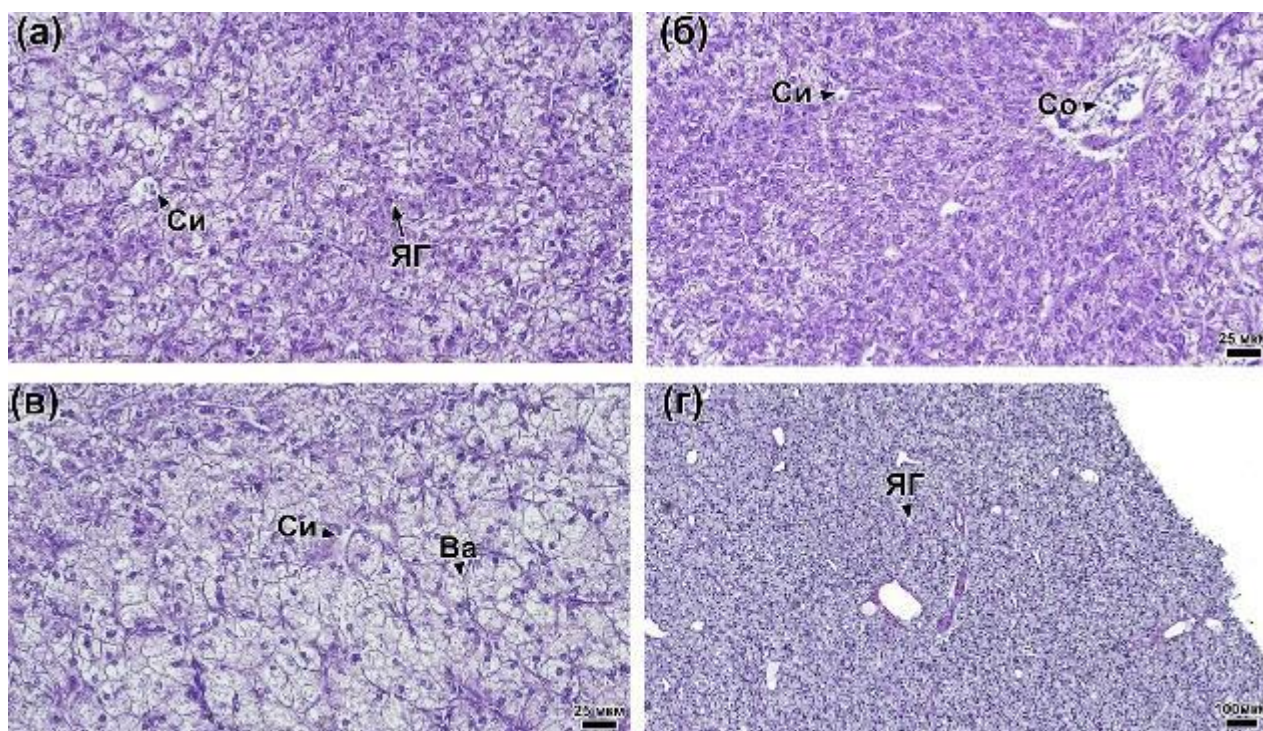


Рисунок 22 – Гистологические срезы печени клариевого сома после гипотермического стресса групп F₁ 90-95 г (а), F₁ 150-200 г (б), F₂ 90-95 г (в), F₂ 150-200 г (г). Сокращения: Си – синусоидный капилляр, ЯГ – ядро гепатоцита, Со – сосуд, Ва – вакуолизация.

Проведенные исследования позволяют заключить, что гистологические изменения, наблюдаемые в тканях кожных покровов, кишечника и печени, при понижении температуры среды, преимущественно носят приспособительно-компенсаторный характер. При этом особи *C. gariepinus*

большей размерно-весовой группы (150-200 г) обладают большей приспособляемостью и способны лучше акклиматизироваться к пониженным температурам выращивания.

3.2.4 Функциональные группы дифференциально экспрессируемых генов

Анализ транскриптома. Всего было создано 6 библиотек РНК-секвенирования печени *C. gariepinus*, что составило 394,489 млн сырых прочтений. После удаления низкокачественных и дубликатных последовательностей, количество чистых прочтений составило 382,947 млн, с долей секвенированных фрагментов 96,2-97,7%. Для количественной оценки экспрессии было использовано 330,286 млн (85,0-87,9%).

В ходе анализа было выявлено 20899 генов в обеих экспериментальных группах, из которых идентифицировано 536 дифференциально экспрессируемых гена (ДЭГ), обладающих как минимум двукратным изменением уровня экспрессии. Среди них были отмечены 385 генов с повышенной экспрессией ($\log_2FC \geq 1$) и 151 с пониженной ($\log_2FC \leq -1$) (рис. 23).

Далее был проведен анализ обогащения Gene Ontology (GO) на аннотированных генетических последовательностях, исключая предсказанные локусы. Всего в GO обогащение было включено 377 ДЭГ, из которых 287 обладают повышенной экспрессией, 90 пониженной. Было обнаружено как минимум 40 биологических процессов.

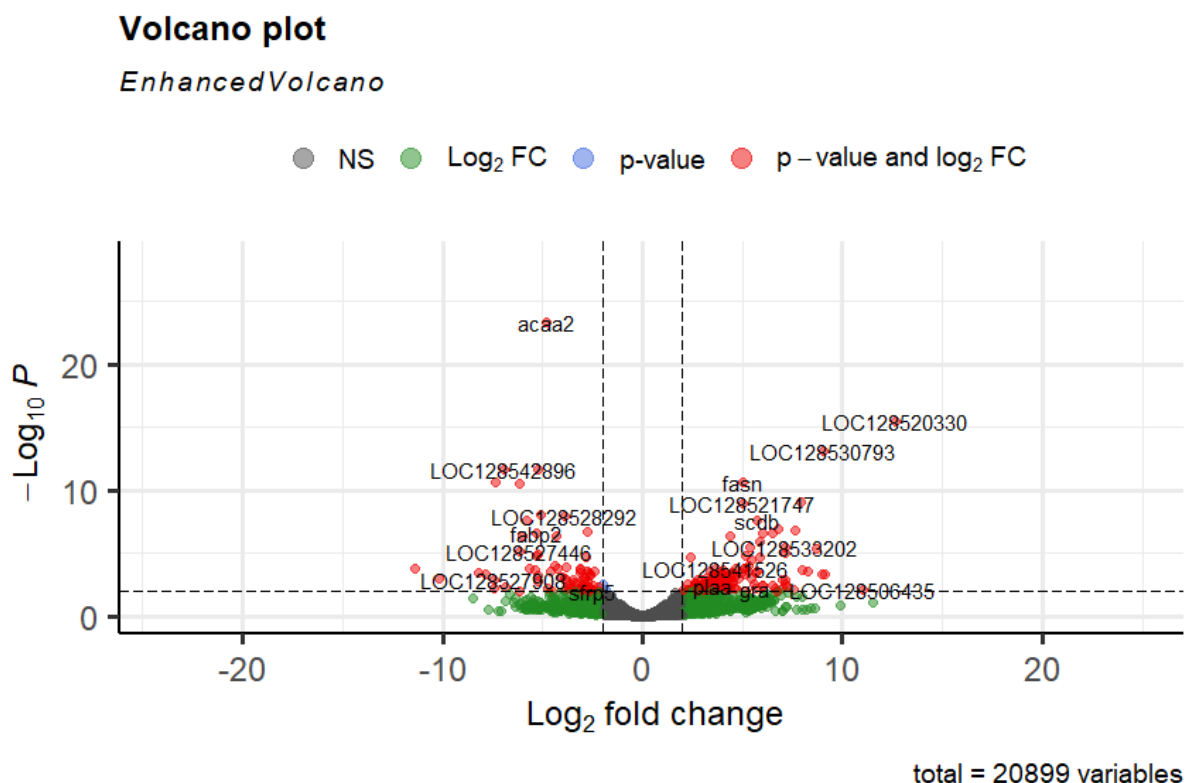


Рисунок 23 – Вулканическая диаграмма экспрессируемых генов в печени *C. gariepinus* при гипотермии: красные точки представляют собой гены с дифференциальной экспрессией, в то время как зеленые и серые точки обозначают гены с аналогичными уровнями экспрессии в обеих группах. В левой части графика красная область выделяет гены с пониженной экспрессией ($\log_2 FC \leq -1$), в правой – с повышенной ($\log_2 FC \geq 1$)

В результате было выявлено относительно слабое обогащение разных категорий GO (рис. 24), что может свидетельствовать о плеiotропном воздействии пониженной температуры на организм рыб. 9,5% ДЭГ были связаны с биологическими процессами трех категорий: катаболизмом макромолекул (GO:0043632), катаболизмом белка (GO:0019941) и убиквитин-зависимым процессом катаболизма белка (GO:0006511).

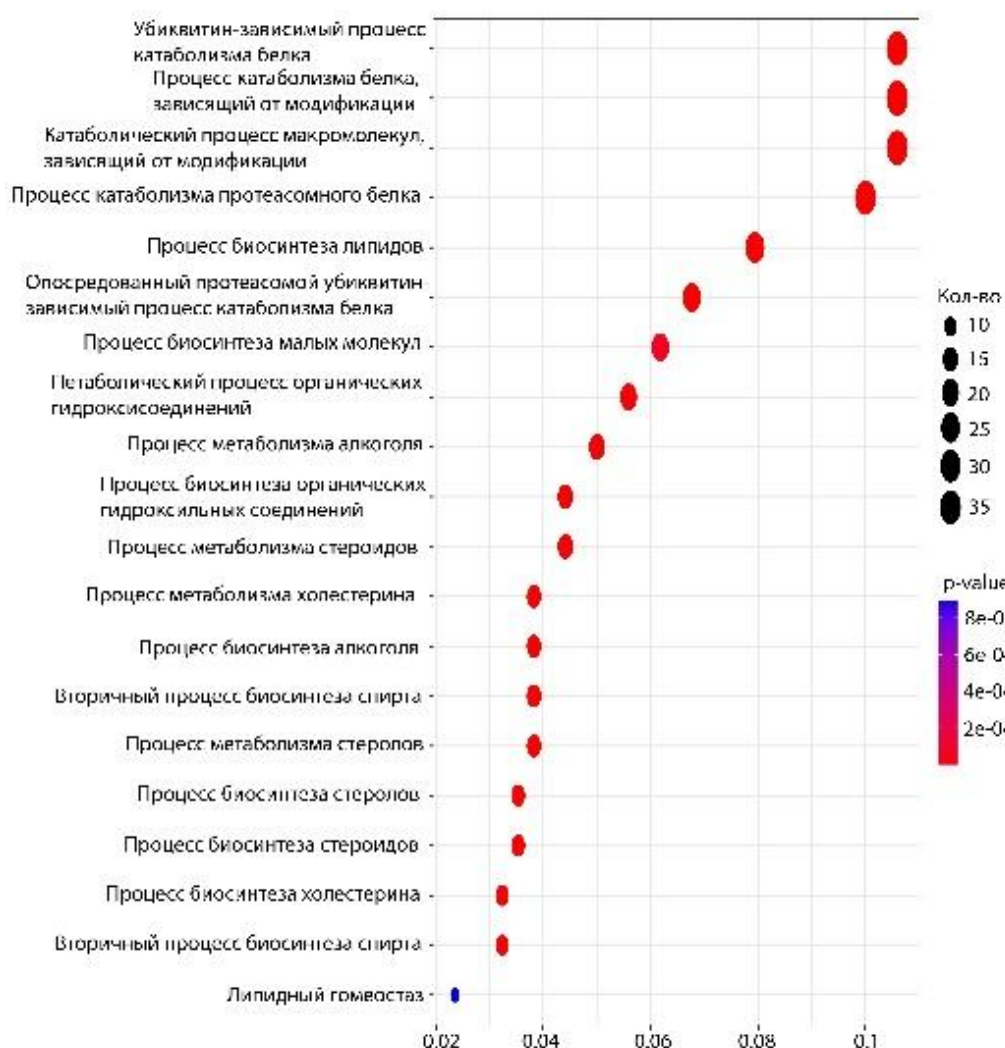


Рисунок 24– Результаты GO анализа 20 обогащенных биологических процессов ДЭГ печени *C. gariepinus* после содержания при пониженных температурах водной среды

Также, 9% ДЭГ в тканях печени были связаны с катаболизмом протеасомного белка (GO:0010498). 7% ДЭГ были ассоциированы с биосинтезом липидов (GO:0008610), при этом половина из генов характеризовалась пониженной экспрессией ($\log_2FC \leq -1$). 5% ДЭГ относились к метаболическому процессу органических гидроксисоединений (GO:1901615), 4,5% к процессу метаболизма алкоголя (GO:0006066), 3,9% были вовлечены в метаболизм стероидов (GO:0008202) и биосинтез органических гидроксильных соединений (GO:1901617). 3,7% ДЭГ были связаны с регуляцией катаболического процесса (GO:0009894) и метаболизмом глицеролипидов (GO:0046486). Были также обнаружены

процессы метаболизма стеролов (GO:0016125), вторичного метаболизма алкоголя (GO:1902652), биосинтеза алкоголя (GO:0046165), и метаболизма холестерина (GO:0008203). Стоит отметить, что экспрессия генов, связанных с метаболизмом холестерина была значительно подавлена ($\log_2FC \leq -1$).

Мы также проанализировали ДЭГ, измененные пониженной температурой водной среды, в базе данных путей KEGG (рисунок 25). Всего было обнаружено 69 предполагаемых биологических путей. В группе с повышенной активацией большинство генов были вовлечены в сигнальные пути: MAPK (04010), TGF-бета (04350), передачи через Toll-подобный рецептор (04620); а также клеточный цикл (04110), клеточную адгезию (04514) и транспорт (04530, 04540). В генах, подавленных пониженной температурой, были значительно обогащены метаболические пути (01100), биосинтез стеролов (00100) и нуклеиновых сахаров (00520), распад белков (04217). Поскольку большинство этих путей связаны с сигнальными путями и метаболизмом, пониженная температура содержания (15°C), предположительно, индуцирует стресс и подавляет базальный метаболизм молоди клариевого сома.

Анализ выявил 36 ДЭГ, связанных с убиквитин-протеасомной системой (GO:0006511), 31 ДЭГ, связанный с биосинтезом липидов и стеролов (GO:0008610, GO:0008202), 16 ДЭГ, участвующих в процессе метаболизма алкоголя (GO:0006066), 14 ДЭГ, вовлеченных в сигнальный путь MAPK (сигнализация митоген-активируемой протеинкиназы) (04010), 7 ДЭГ, ассоциированных с иммунным ответом, и 4 ДЭГ, являющихся маркерами холодового стресса у рыб (Long et al., 2013; Ren et al., 2021).

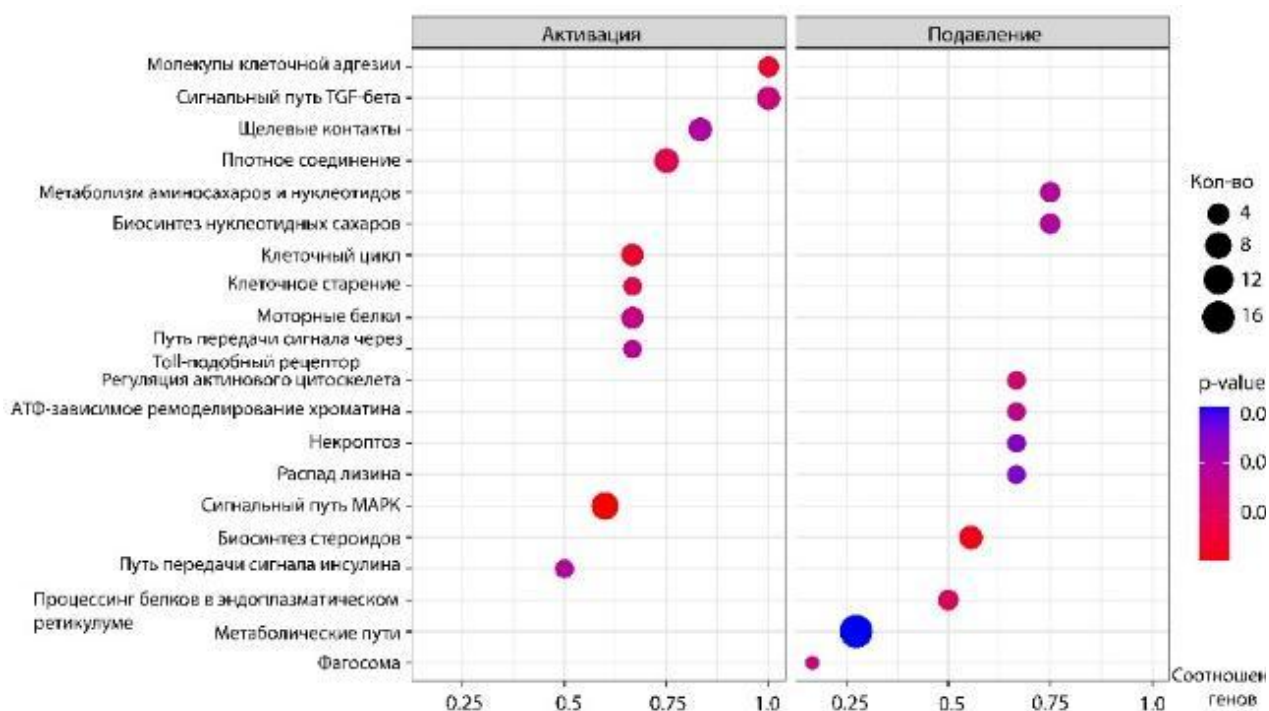


Рисунок 25 – Результаты KEGG анализа 10 активных и 10 подавленных путей ДЭГ печени *C. gariepinus* после содержания при пониженных температурах водной среды

Активация убиквитин-протеасомной системы. В нашей работе прослеживалась активация убиквитин-протеасомной системы (GO:0006511) в печени рыб в ответ на постепенное понижение температуры содержания (15°C). Наиболее представительными ДЭГ, участвующими в этом биологическом процессе, являлись *CLGN*, *RNF14*, *PSMA1*, *PSMA4*, *PSMB5*, *FAF1*, *FBXL22* и *UBE2D1B*, характеризующиеся значительно большей экспрессией в тканях (таблица 1). Возрастающая экспрессия генов убиквитинирования белков и активности протеасомы 20S позволяет предположить, что данная система вовлечена в процесс акклимации к холодной температуре у молоди *C. gariepinus* посредством активной денатурации поврежденных белков в тканях печени.

Биосинтез липидов и стеролов. Процессы биосинтеза холестерина и стеролов в печени были обогащены в генах с пониженной экспрессией (таблица 2). Ряд ДЭГ: *LSS*, *RDH5*, *HSD17B7*, *CISHB*, *DHCR7*, *PMVK*, *MSMO1*, *CISH*, *TM7SF2*, *PISD*, *SQLEA*, *MVK*, *SC5D* и *ACAA2* указывает на снижение

уровня холестерина, изменение состава клеточных мембран, а также на подавление синтеза желчных кислот, что может привести к ухудшению детоксикации и секреции желчи. Под воздействием температуры наблюдалось изменение β -окисления жирных кислот, за счет снижения ацетил-КоА ацилтрансферазы 2, накопления длинноцепочечных ЖК, приводящее к комплексной метаболической перенастройке. Данное предположение объясняется значительным увеличением экспрессии гена *FASN*, главного фермента липогенеза, производящего длинноцепочечные насыщенные жирные кислоты из малонил-КоА (ACACA) в триглицериды; а также *PIP5K1CA* и *SCDB*, выступающих в качестве регуляторов липидного обмена в мембранах и поддержания их текучести.

Метаболизм алкоголя. ДЭГ *IMPA1*, *TTR* связанные с GO:0006066, в печени *S. gariepinus* имели повышенную экспрессию (Приложение Д). Транстиретин (*TTR*), белок, связывающий тироксин (Т4) и ретинол-связывающий белок (RBP), участвует в транспорте гормонов щитовидной железы и ретиноидов. В ответ на пониженный температурный режим данный ген демонстрирует резко повышенную экспрессию, что может указывать на повышение гормонального сигнала щитовидной железы, воспаление, а также регуляцию метаболизма жирных кислот. В следствии сдвига липидного метаболизма, ген инозитолмонофосфатаза 1 *IMPA1* также показывает высокую активность в печени, что может говорить о стрессовом и воспалительном ответе, так как *IMPA1* является частью фосфоинозитольного сигнального пути (PI).

Сигнальный путь MAPK и иммунный ответ. Понижение температуры водной среды активировало синтез внутриклеточной передачи сигналов стресса митоген-активируемой протеинкиназы (MAPK) (Chen, Thorner, 2007), а именно p38 MAPK (*MAPK14B*). Это подтверждается повышенной экспрессией других стресс-зависимых ДЭГ иммунного ответа организма - белка теплового шока семейства A 13 (*HSPA13*), интерлейкина 11a (*IL11A*), фактора некроза опухоли (*TNFAIP3*), хемокина (*CXCL8A*) и матриксной

металлопротеиназы 9 (MMP9). А также генов, участвующих в их регуляции: метаприна (*MEP1BB*) и тиоредоксина (*TXN*) (таблица 1). Повышение экспрессии генов-регуляторов свидетельствует о работе компенсаторной системы организма рыб в ответ на понижение температуры водной среды. Некоторые из ДЭГ, относящиеся к иммунному ответу (фосфатаза 2, гены ранней реакции роста 2b и 1, ядерный рецептор подсемейства 4A1), были ингибированы *DUSP2*, *EGR2B*, *EGR1* и *NR4A1* (Приложение Е). Понижение экспрессии этих генов может говорить о метаболическом переключении (*EGR1*, *EGR2B*), возможном переходе иммунного ответа из острой в хроническую фазу (*NR4A1*), регуляции лимфоидного ответа (*EGR2B*), макрофагов (*NR4A1*), а также подавлении MAPK сигнала (*DUSP2*).

Маркеры холодового стресса. В транскриптомных исследованиях холодового стресса на рыбах показано, что отдельные гены связаны с акклиматизацией и устойчивости рыб к холоду, как показано у *Danio rerio* (Long et al., 2013; Ren et al., 2021). Некоторые из представленных генов были среды наиболее высокоактивных в печени *Clarias gariepinus* при пониженной температуре водной среды (15°C): члены семейства высококомобильных групповых генов (*HMGB1B*, *HMGB3B*) и меприн А, бета (*MEP1BB*).

Для комплексного сравнения полученных данных, списки повышающихся и понижающихся ДЭГ были сравнены со списками ДЭГ личинок *Danio rerio*, подвергнутых холодовому стрессу при 16 и 12°C (Long et al., 2013). Было обнаружено соответствие 71 ДЭГ с повышенной экспрессией (входящие в комплекс работы протеасомы, *HSPA13*, группы белков высокой мобильности *HMGB3B*, *HMGB1B* и других), и 2 ДЭГ с пониженной экспрессией у *C. gariepinus* и *D. rerio* (*MSMO1* и *LSS*). При этом, некоторые гены обладали разнонаправленной экспрессией: 4 повышены у клариас (*TTR*, *PANE1*, *GCK*, *DGAT2*), понижены у данио; 7 повышены у данио, понижены у клариас (*PLEKHH1*, *PISD*, *NR1D4B*, *NR0B1*, *IGFBP1A*, *ANGPTL4* и *AMOTL2B*). Тем не менее, наблюдается сходство в генах, регулируемых пониженной температурой содержания., хотя консервативная

реакция на воздействие холода наблюдается во многих типах тканей рыб, тканеспецифические паттерны часто показывают расходящиеся или противоположные результаты (Gracey et al., 2004). Поэтому выбор ткани имеет критическое значение при сравнении реакций среди популяций и видов. Белки группы высокой подвижности важны при длительном воздействии как холодной, так и теплой температуры и могут играть важную роль в температурной компенсации в том числе в печени *C. gariepinus* (Ren et al., 2021).

Анализ обогащенных терминов GO из этого исследования, такие как убиквитин-зависимый катаболический процесс белка и биосинтез липидов ранее были обнаружены в генах рыб, регулируемых холодом (Shin et al., 2012). Профиль транскриптов антарктических рыб *Notothenia corriceps* и *Chaenocephalus aceratus* приспособившихся к холодным условиям показывает, что опосредованный убиквитином путь деградации белка имеет особое значение в процессе адаптации (Logan et al., 2015). Катаболизм убиквитин-зависимых белков индуцируются воздействием холода, что предполагает деградацию и модификацию развернутых или неправильно свернутых белков под воздействием низкой температуры. Кроме того, гены, связанные с убиквитинированием, значительно экспрессируются у рыб умеренного климата, таких как *Cyprinus carpio* (Xu et al., 2014), тропических рыб *Danio rerio* (Long et al., 2013) и многих других в условиях острого стресса от холода (Hu et al., 2016).

Результаты ранних физиологических и биохимических исследований показали, что рыбы могут адаптироваться к изменению температуры посредством «биохимической реструктуризации», а именно изменения количества определенных видов молекул и типов молекул, присутствующих в клетках (Rebl et al., 2013). Рыбы могут постепенно устанавливать холодовые адаптивные фенотипы посредством обширных биохимических, метаболических и физиологических регуляций (Atwood et al., 2003; Qian, Xue, 2016). Было описано несколько механизмов, связанных с адаптацией

рыб к холоду, включая изменение текучести клеточных мембран и катаболизм липидов (Johnston, Roots, 1964), являющихся более эффективным источником энергии для сопротивления острому холодовому стрессу у рыб (Lu et al., 2019).

Путь MAPK участвует во внутриклеточных реакциях на различные стрессы окружающей среды, включая холод, тепло, активные формы кислорода, УФ-излучение, высыхание и атаку патогенов (Colcombet, Hirt, 2008). Сигнальный путь p53 может быть вызван стрессовыми сигналами, такими как повреждение ДНК, гипоксия, тепло и окислительный стресс, и его активация часто приводит к остановке клеточного цикла, клеточному старению или апоптозу (Siliciano et al., 1997). Было обнаружено, что сигнальный путь MAPK, особенно p38 MAPK, активируется холодным стрессом у тихоокеанской белой креветки *Litopenaeus vannamei* (Luo et al., 2020). Однако функции MAPK в модуляции холодоустойчивости рыб остаются неясными.

На основе микрочипов кДНК транскриптомный ответ в тканях печени *H. antarcticum* на воздействие 6°C в течение 48 ч включал повышение регуляции генов, участвующих в классическом воспалительном ответе (Thorne et al., 2010). Воздействие условий острого холодового стресса значительно повышает активность иммунной системы *Oreochromis mossambicus* (Velmurugan et al., 2019). Кроме того, экспрессия генов провоспалительных цитокинов также регулировалась, а иммунные реакции были изменены в селезенке, почках и печени нильской тиляпии, хронически подвергавшейся воздействию низких температур (Dellagostin et al., 2022).

Результаты анализа обогащения GO и KEGG указывают на то, что в установлении устойчивости к холоду в печени молоди африканского сома участвуют множественные биологические процессы, в том числе метаболическая перестройка (синтез длинноцепочечных ЖК), активация иммунной системы (путь передачи сигнала Toll-подобного рецептора, повышенная экспрессия интерлейкинов, хемокинов и фактора некроза

опухоли) и МАРК-сигнализация, а также возросшая активность убиквитин-системы денатурации белка.

3.3 Результаты научно-хозяйственных испытаний по выращиванию молоди африканского сома в прудах Курской и Белгородской областей за вегетационные периоды 2023 и 2024 гг. (III и IV рыбоводные зоны)

3.3.1 Результаты морфометрического анализа гибридов и родительских линий

Результаты сравнительного изучения морфометрических характеристик, выраженных в процентах к длине тела и головы рыб представлены в табл. 24. По данным статистического анализа, гибриды первого поколения имели значительные отличия по следующим показателям: SL, PVD, DFL, AFL, O, BDA, HW, SNL, OFL и OFW по сравнению с родительскими формами и гибридами F_2 .

На основе промеров, экземпляры F_1 можно охарактеризовать как рыб с более длинным широким телом и вытянутой головой, при этом демонстрирующих значимые отличия в длине и ширине затылочной впадины (Климук и др., 2025б).

Гибриды второго поколения можно охарактеризовать как менее продуктивные за счет не выдающихся показателей длины и обхвата тела и большей длины головы.

По результатам анализа главных компонент на графике проекций исходных и гибридных форм клариевого сома выявляются четыре кластера, первый из которых сформирован родительскими особями породы михайловская и смещен влево относительно компоненты (PC1), второй кластер образован родительской группой таманских особей и занимает правую часть графика (рис. 26).

Таблица 24 – Результаты сравнительного анализа относительных данных морфометрических промеров гибридных групп и родительских особей

Промер	Опытные группы				P value
	Михайловская (n=15)	Таманская (n=15)	F ₁ (n=25)	F ₂ (n=25)	
Промысловая длина, SL (см)	44,6±5,68 ^{ab}	57,3±4,33 ^a	53,3 ±4,9 ^a	36,1 ±3,74 ^b	0,0001
Антеродорсальное расстояние, PDD (%SL)	30,3±2,92 ^b	28,3±7,29 ^b	33,5 ±2,05 ^b	36,1 ±1,48 ^a	<0,0001
Перианальное расстояние, PAD (%SL)	46,5±5,4 ^b	49,8±2,7 ^b	53,2 ±4,91 ^b	56,8 ±2,15 ^a	0,0001
Пребрюшное расстояние, PVD (%SL)	40,4±3,24 ^b	43,9±1,65 ^{ab}	46,7 ±2,79 ^a	46,7 ±2,17 ^a	<0,0001
Препекторальное расстояние, PPD (%SL)	25,6±2,4 ^a	21,3±0,96 ^b	23,5 ±4,74 ^{ab}	23,7 ±1,01 ^a	<0,0001
Длина спинного плавника, DFL(%SL)	55,2±3,89 ^b	61,1±1,77 ^{ab}	63,8 ±3,74 ^a	53,4 ±7,44 ^{ab}	0,0001
Длина анального плавника, AFL (%SL)	39,4±8,62 ^b	42,1±1,04 ^{ab}	43,1 ±1,77 ^a	41,4 ±3,01 ^{ab}	<0,0001
Длина грудного плавника, PFL (%SL)	11,5±1,27	12,3±0,95	11,7 ±1,28	11,3 ±1,02	p>0,05
Расстояние между плавниками, DDCF (%SL)	4,9±0,59 ^{ab}	7,1±2,25 ^a	4,3 ±0,94 ^b	6,2 ±0,96 ^a	0,0044
Высота основания хвоста, CPD(%SL)	9,5±0,59	8,6±0,47	9,0 ±0,99	8,7 ±0,98	p>0,05
Обхват тела, O (%SL)	40,3±3,23 ^a	37,3±2,73 ^{ab}	40,2 ±5,79 ^a	32,0 ±4,74 ^b	0,0001
Высота тела, BDA (%SL)	18,3±1,46 ^a	17,2±1,34 ^{ab}	18,0 ±1,97 ^a	15,5 ±1,45 ^b	0,0023
Длина головы, HL (%SL)	23,4±1,6 ^b	24,4±2,73 ^{ab}	24,5 ±3,74 ^b	28,1 ±0,85 ^a	0,0042
Ширина головы, HW (%HL)	13,9±0,91 ^b	18,2±1,45 ^{ab}	18,9 ±1,11 ^a	17,5 ±1,23 ^b	0,0005
Длина рыла, SNL (%HL)	31,0±2,87 ^a	24,3±2,8 ^b	29,5 ±4,84 ^a	29,2 ±2,66 ^{ab}	0,0043
Межглазничное расстояние, ID (%HL)	42,5±3,38	48,3±3,94	48,6 ±6,47	44,8 ±3,31	p>0,05
Диаметр глаза, ED (%HL)	6,1±0,59 ^a	6,5±0,92 ^a	4,5 ±1,89 ^b	4,8 ±0,88 ^{ab}	0,0004
Длина затылочной впадины, OFL(%HL)	11,6±2,96 ^{ab}	12,3±0,33 ^{ab}	14,9 ±3,64 ^a	9,3 ±1,24 ^b	0,0016
Ширина затылочной впадины, OFW (%HL)	4,9 ±0,18 ^b	4,7±0,52 ^b	7,0 ±2,17 ^a	5,1 ±1,46 ^b	0,005
Расстояние до затылочной впадины, DSO (%HL)	59,5±7,33 ^b	62,4±9,12 ^{bc}	83,5±1 3,41 ^{ac}	80,6±7, 41 ^c	0,0002

Примечание: статистическая обработка выполнена с использованием теста Краскелла-Уоллиса; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

При этом гибридные особи F_2 образовали достаточно однородную группу, занимающую нижнюю часть левой и правой сторон графика, в которой гибриды оказались схожими и достаточно консолидированными, но особи F_1 демонстрируют существенный разброс и пересекаются с гибридами F_2 . Подобная вариативность у гибридов F_1 может объясняться высокой степенью гетерозиса.

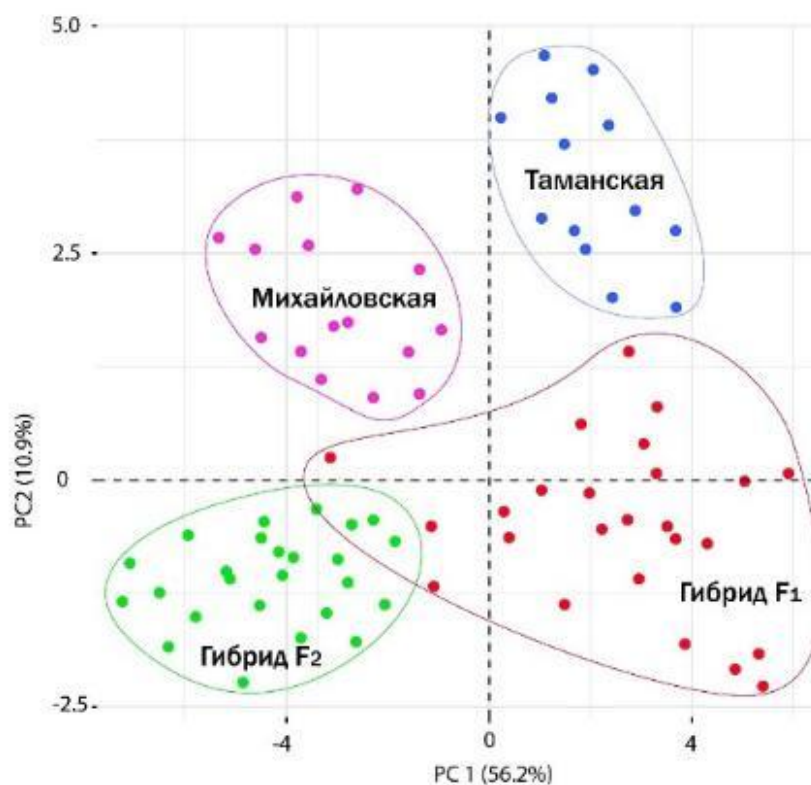


Рисунок 26— График проекций наблюдений анализа главных компонент морфометрических промеров и индексов родительских и гибридных групп первого и второго поколений *Clarias gariepinus*

На графике корреляций переменных (рис. 27) видно, что из всей совокупности рассматриваемых признаков существенный вклад в распределение данных по методу главных компонент вносят такие показатели, как DFL, PVD, HW, HL, PDD, AFL, OFL, PFL и CPD. Напротив, влияние таких признаков, как DFL/SL и ED на распределение данных минимально.

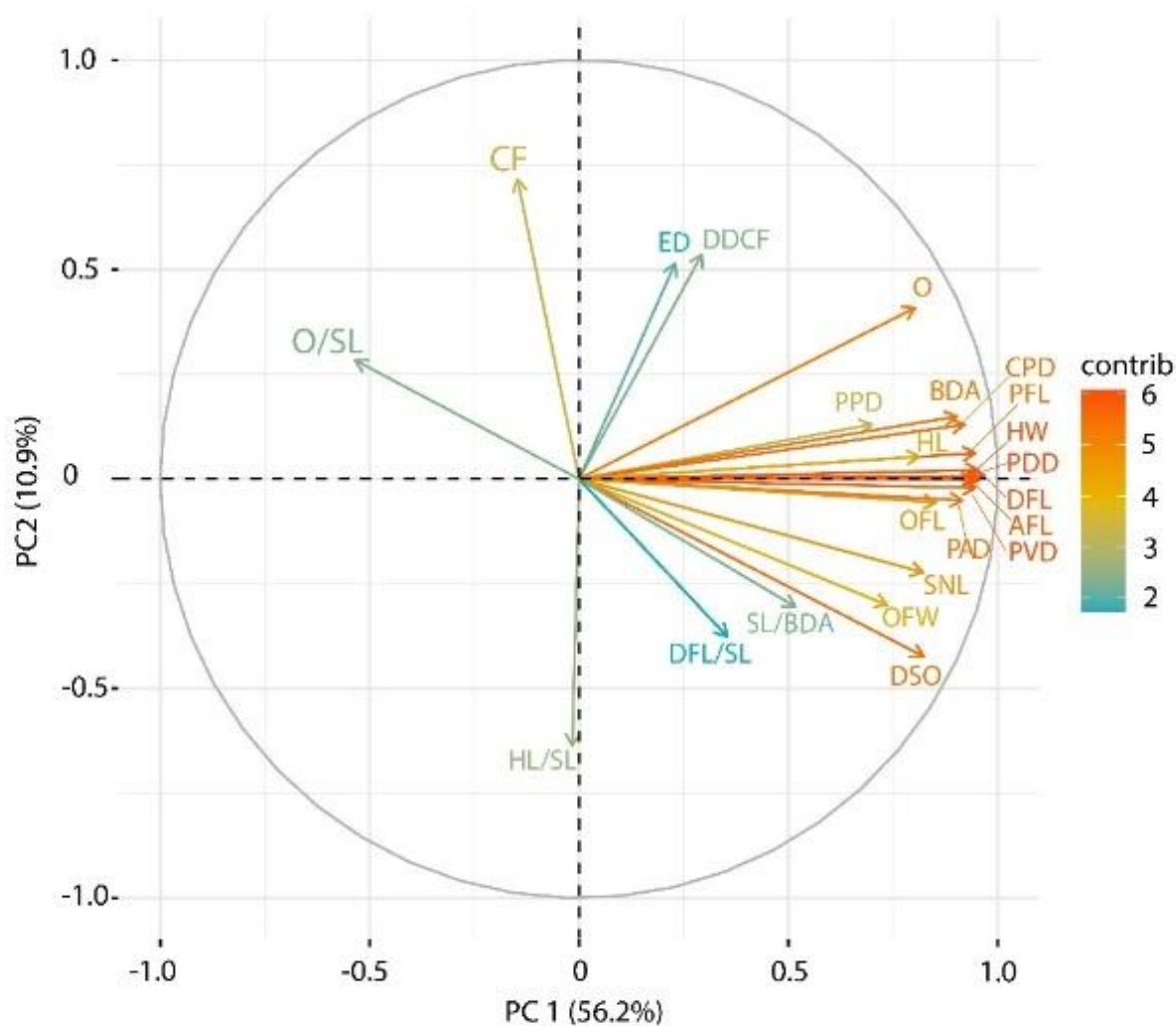


Рисунок 27– График корреляций переменных анализа главных компонент экстерьерных показателей и индексов изучаемых групп

Согласно расчетам, основные индексы продуктивности особей, такие как прогонистость (SL/BDA), характерна таманской породе, высокоспинность (DFL/SL) гибридам F_2 , компактность (O/SL) и большеголовость (HL/SL) гибридам F_2 и михайловской породе, а коэффициент упитанности (CF) – михайловской и таманской породным группам (табл. 25).

Таблица 25 – Результаты сравнительного анализа морфометрических индексов гибридных групп и родительских особей *C. gariepinus*

Индекс	Опытные группы				P value
	Михайловская (n=15)	Таманская (n=15)	F ₁ (n=25)	F ₂ (n=25)	
Прогонистость, SL/BDA	2,5±0,49 ^{bc}	3,2±0,46 ^{ac}	3,0±0,43 ^c	2,3±0,28 ^b	0,0002
Высокоспинность, DFL/SL	1,3±0,19 ^b	1,1±0,06 ^b	1,2±0,12 ^b	1,5±0,28 ^a	0,0001
Компактность, O/SL	0,9±0,19 ^{ac}	0,7±0,09 ^{bc}	0,8±0,12 ^c	0,9±0,14 ^a	0,0005
Большеголовость, HL/SL	0,53±0,07 ^{ab}	0,42±0,07 ^b	0,46±0,11 ^b	0,78±0,1 ^a	0,0002
Коэф. упитанности, CF	1,8±0,65 ^a	2,2±0,63 ^a	1,4±0,35 ^{ab}	1,1±0,09 ^b	0,0001

Примечание: статистическая обработка выполнена с использованием теста Краскелла-Уоллиса и пост-хок тестом Данна

Таким образом, эффективность оценки по морфометрическим показателям продуктивности прослеживается по показателям индексов: гибриды первого поколения характеризуются меньшей головой и более высоким и коротким телом, и высоким выходом товарной продукции на этапе первичной переработки (Климук и др., 2025б). Результаты морфометрических промеров зарегистрированы в формате базы данных (Приложение А).

3.3.2 Результаты анализа рыбопродуктивности водоемов в 2023 и 2024

гг

Научно-хозяйственный эксперимент в 2023 г. В качестве водоема для зарыбления было выбрано рыбоводное хозяйство в селе Ураево, Валуйского городского округа Белгородской области (рис. 28, а) (Климук и др., 2024б). Для посадки в пруд (площадь 0,4 га, ср. глубина 1,2 м) было отобрано 1000 ср. массой 102,0±12,0 г (общ. биомасса 102 кг) (рис. 28, б) согласно акту зарыбления 2023 г. (Приложение В). В опытном рыбоводном

пруду с середины июня по октябрь температура воды колебалась от 20 до 27°C.



Рисунок 28 – Проведение научно-хозяйственного опыта по зарыблению водоема в Белгородской области в 2023 г: а – водоем зарыбления; б – рыбопосадочный материал гибридного клариевого сома; в – облов водоема; г – взрослые особи гибридов клариевого сома, выращенные в прудах

Количество выловленных особей гибрида (михайловская ♀×♂ таманская) клариевого сома составило 790 особей, общей биомассой 728,8 кг, что составило 79 % выхода сома из пруда (табл. 26, рис. 28 в). Индивидуальная масса особей варьировалась от 768 до 1600 г (рис. 28, г). По результатам облова, рыбопродуктивность водоема составила 1,8 т/га за вегетационный период длительностью 90 сут. согласно акту облова 2023 г. (Приложение Г).

Таблица 26 – Сводная таблица по результатам выращивания акклиматизированной молоди за вегетационные периоды в 2023 и 2024 гг

Регион	Рыб. зона	Диапазон t, °C	Длит. выращивания, сут	Общая биомасса, кг	Рыбопродуктивность, т/га	Выживаемость, %
Белгородская обл.	IV	16-29	90	728,8	1,8	79
Курская обл.	III	15-28	120	1526,3	1,0	72

Научно-хозяйственный эксперимент в 2024 г. В качестве водоема для зарыбления было выбрано рыбоводное хозяйство (ЗАО «Голубая Нива») в Железнодорожный район Курской области (рис. 29, а). Для посадки в пруд (площадь 1,5 га, ср. глубина 1,5 м) было отобрано 2000 особей ср. массой $108,0 \pm 11,0$ г (общ. биомасса составила 220 кг) (рис. 29, б) согласно акту зарыбления 2023 г. (Приложение В).

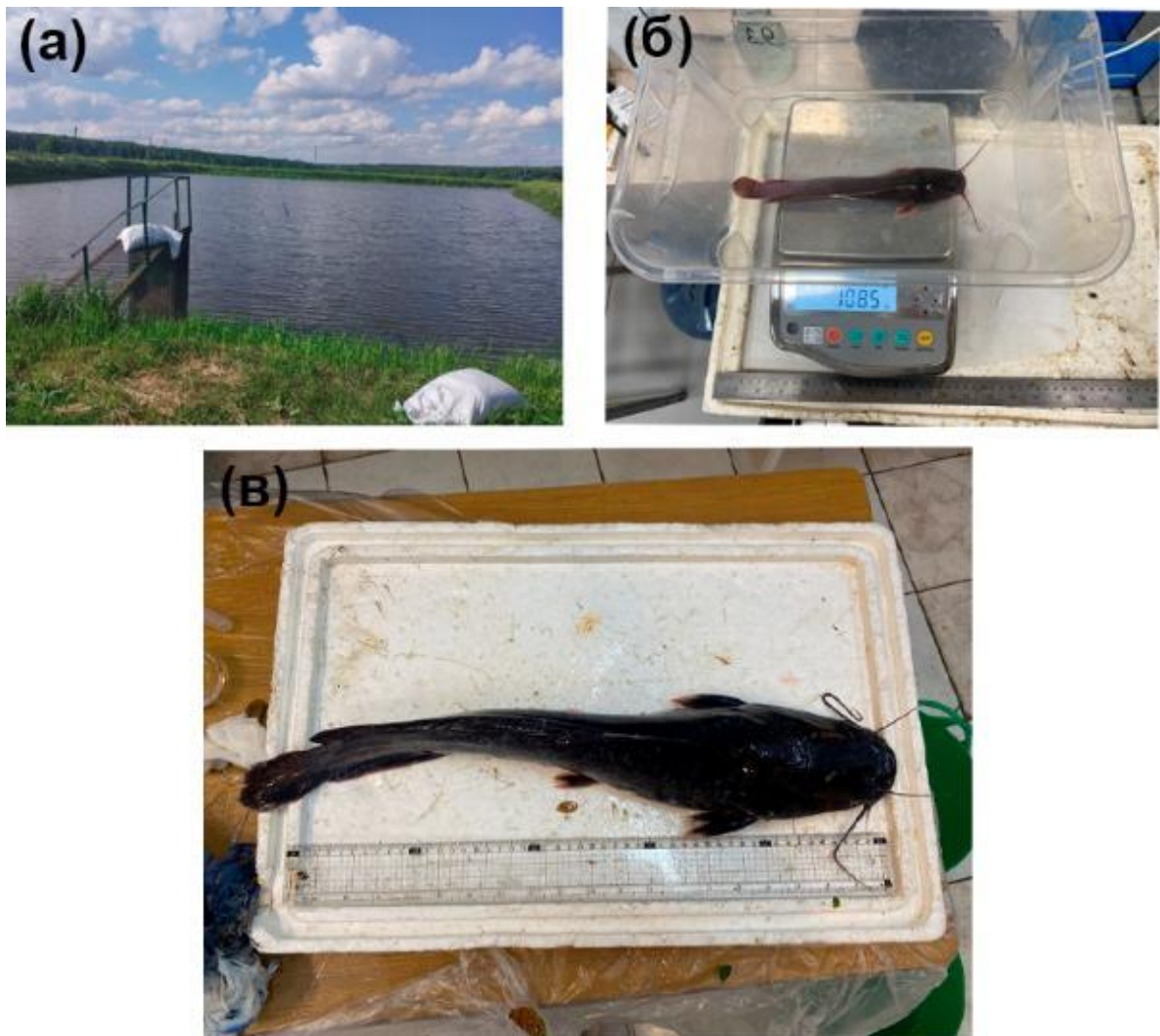


Рисунок 29 – Проведение научно-хозяйственного опыта по зарыблению водоема в Курской области в 2024 г: а – водоем зарыбления; б – рыбопосадочный материал гибридного клариевого сома второго поколения; в – взрослые особи гибридов клариевого сома, выращенные в прудах

В опытном рыбноводном пруду с середины июня по октябрь температура воды колебалась от 19 до 28°C. Количество выловленных

особей гибрида второго поколения клариевого сома составило 1440 особей, общей биомассой 1526,3 кг, что составило 72 % выхода сома из пруда (табл. 26). Индивидуальная масса особей варьировалась от 825 до 1750 г (рис. 29, в). По результатам облова, рыбопродуктивность водоема составила 1,0 т/га за вегетационный период длительностью 120 сут. согласно акту облова 2024 г. (Приложение Г).

3.3.3 Технологическая переработка сырья и химический состав филе

Согласно полученным технологическим данным, конечная масса самок и самцов в опытных группах за 10 мес. выращивания в УЗВ составила не менее 1700 г, но достоверных различий между опытными группами не наблюдалось (табл. 27) (рис. 30, а и б). Масса рыб после потрошения (рис. 30, в) также не имела существенных отличий между опытными группами и составила 1100 г (63%).

Таблица 27 – Результаты измерения технологических параметров самок и самцов опытных групп

Опытная группа	Масса рыбы, г	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %
		Порка		Голова		Тушка		Филе	
Гибриды F ₁ , самки	1696,4 ±459,9	1043,6 ±211,6	63,0 ±12,7	376,7 ±82,9	23,0 ±4,2 ^a	700,0 ±212,0	41,0 ±8,5	448,0 ±95,0	27,0 ±6,3 ^{ab}
Гибриды F ₁ , самцы	1945,2 ±260,7	1270,6 ±190,5	65,0 ±1,9	444,8 ±45,9	23,0 ±1,3 ^a	825,8 ±148,4	42,0 ±2,3	571,6 ±116,6	29,0 ±2,8 ^a
Гибриды F ₂ , самки	1880,4 ±435,2	1165,8 ±212,1	62,0 ±7,0	534,0 ±66,3	28,4 ±3,6 ^b	812,3 ±130,3	43,2 ±2,1	471,9 ±114,3	25,1 ±1,6 ^b
Гибриды F ₂ , самцы	1680,4 ±224,6	1062,0 ±216,4	63,2 ±9,2	490,6 ±54,3	29,2 ±4,4 ^b	677,2 ±140,5	40,3 ±5,5	441,9 ±89,3	26,3 ±2,2 ^{ab}

Примечание: статистическая обработка выполнена с использованием теста Краскелла-Уоллиса и пост-хок теста Данна, надстрочные буквы a,b,c статистическую разность при сравнении между группами исследования

Масса голов в группе F₁ имела существенные отличия в среднем в 1,2

раз ($p < 0,05$) от F_1 (рис. 30, д) . Процентный выход тушки рыб у гибридного потомства составил не менее 40% (рис. 30, г). При этом самцы F_2 имели меньшую массу тушки (выход % – 40,3).



Рисунок 30 – Этапы технологической переработки клариевого сома:

а – свежая не потрошенная рыба; *б* – масса рыбы; *в* – потрошенная рыба;
г – тушка; *д* – масса головы; *е* – филе с кожей; *ж* – масса костей;
з – филе без кожи

Конечный выход филе у гибридных самок и самцов первого поколения не имел существенных различий (27,0 и 29,0% соответственно) (рис. 30, е-з). То же наблюдалось и в конечном выходе филе у гибридов F_2 . При этом существенное различие наблюдалось в процентном выходе филе у гибридных самок F_2 – в 1,15 раз выше ($p < 0,05$) по сравнению с самцами F_1 .

Согласно анализу химического состава филе гибридных групп африканских сомов, выращенных в прудовых хозяйствах, уровни белков, жиров и золы находились в оптимальных для данного вида уровнях (табл. 28). Как видно из данных таблицы, мышечная ткань клариевого сома

обладает высокой пищевой и биологической ценностью (содержание белка на 100 г продукции составляет не менее 16 г). Мясо африканского сома обладает средней жирностью (6,5 г/100г продукции).

Таблица 28 – Химический состав мышечной ткани гибридных особей клариевого сома

Показатель	Группа	
	Гибриды F ₁ (п=20)	Гибриды F ₂ (п=20)
Влажность, %	72,4±0,2	74,9±0,3
Сухое вещество, %	21,83±0,5	22,3±0,8
Белок, % от сырой массы	16,4±0,1	16,2±0,2
Жир, % от сырой массы	6,5±0,1	6,4±0,1
Зола, % от сырой массы	1,2±0,05	1,3±0,05

Клариевый сом относится к среднежирному белковому продукту, мышечная ткань содержит все незаменимые аминокислоты, отличается высоким содержанием жиро- и водорастворимых витаминов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения исследования продукционных, морфологических и физиологических параметров у африканского клариевого сома родительских групп и их потомства первого и второго поколения, были сформулированы следующие выводы:

1. Получены гибриды африканского клариевого сома первого и второго поколения от скрещивания пород михайловская и таманская, и показано, что для прудов III рыбоводной зоны (Курская обл.) наиболее подходящими являются гибриды второго поколения, для IV зоны (Белгородская обл.) – первого поколения.

2. Показано, что маркерами холодоустойчивости молоди гибридного африканского клариевого сома F_1 и F_2 являются гематологические и биохимическими параметры: относительное количество лейкоцитов и лимфоцитов, глобулинов и кортизола в сыворотке крови, статистически достоверно и «дозозависимо» реагирующие на $t=17$ и 15°C . При этом наибольшей адаптационной способностью к температурному воздействию обладает гибридное поколение F_2 живой массой 150-200 г,

3. Показаны основные биологические пути адаптивных реакций организма гибридов F_2 при 15°C : убиквитин-протеасомная реакция катаболизма белка, биосинтез липидов и стеролов, сигнальные пути MAPK, TGF-бета и передачи через Toll-подобный рецептор. Адаптация сомов F_2 к температурам обусловлена плеiotропным действием генов, участвующих в экспрессии семейства высококомобильных групповых генов, гена *mer1bb*, а также белков высокой подвижности и работы протеасомы, что способствует адаптации молоди сома к пониженным температурами и повышает жизнестойкость.

4. Зарыбление прудов в Курской и Белгородской обл. гибридными группами африканского сома *Clarias gariepinus* следует начинать при температуре воды выше $22,0^{\circ}\text{C}$ навеской 50-95 г и более $20,0^{\circ}\text{C}$ – навеской 150-200 г.

5. Для выращивания в прудовых хозяйствах III и IV зон рыбоводства ЦФО следует использовать гибридов первого поколения *Clarias gariepinus* (♀ михайловская × ♂ таманская), так как они обладают большей продуктивностью, а их биомасса увеличивается более чем в 7 раз за 3 месяца, по сравнению с гибридами второго поколения.

6. Разработана рыбоводная инструкция, регламентирующая методы оценки продуктивности, технологии выращивания гибридного потомства и акклимацию молоди *C. gariepinus* к пониженным температурным режимам в УЗВ и содержащая рекомендации по выращиванию товарных особей в прудовых хозяйствах III и IV зон рыбоводства.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам исследования разработана рыбоводная инструкция по выращиванию и акклимации молоди *C. gariepinus* к пониженным термальным режимам в УЗВ для использования в прудовых хозяйствах III и IV зон рыбоводства (Приложение Б).

Для повышения жизнестойкости и продуктивности следует использовать изолированные популяции рыб, выращиваемые длительный период в различных эколого-климатических зонах.

При оценке особей африканского клариевого сома по морфометрическим показателям целесообразным является использование индекса большеголовости, так как особи с низким индексом демонстрируют больший выход товарной продукции.

Для получения жизнестойких акклимированных особей африканского сома необходимо производить отбор после краткосрочной выдержки молоди живой массой от 50 до 90 г и от 150 до 200 г в модульных УЗВ с регулируемым температурным режимом (постепенное понижение температуры со скоростью 2°C/сут).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Предполагается проведение исследований, направленных на выведение высокопродуктивных линий гибридных форм африканского клариевого сома, устойчивых к пониженным температурам, с разработкой эффективной маркерной системы отбора и подбора перспективных производителей.

С этой целью планируется использовать комплексный методологический подход, включающий разработку и применение новых селекционных, морфологических, гематологических, биохимических и молекулярно-генетических подходов к оценке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агатова А.И., Аржанова Н.В., Владимирский С.С., Зубаревич В.Л., Мордасова, Н. В., Налетова, И. А., ... Торгунова, Н. И. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М., Агропромиздат, 1991, 220 с.
2. Александрова У. С. Экспериментальные исследования по адаптации клариевого сома к изменениям температуры выращивания //Материалы опубликованы с максимальным сохранением авторской редакции. – 2014. – С. 155.
3. Анализ роста производства аквакультуры // Сельскохозяйственные вести. – 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://agri-news.ru/novosti/analiz-rosta-proizvodstva-akvakultury/> (дата обращения: 21.08.2025).
4. Андрияшева М. А. Генетические аспекты разведения сиговых рыб. Санкт-Петербург: Изд-во ФГНУ "ГосНИОРХ", 2011, 640 с.
5. Булавин, Е. Ф., Асылбекова С. Ж., Булавина Н. Б. Опыт выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*) комбинированным методом в условиях Алматинской области // Каспий в цифровую эпоху : материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках Международного научного форума «Каспий 2021: пути устойчивого развития», Астрахань, 27 мая 2021 года / Астраханский государственный университет. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. – С. 224-229. – EDN TZPPPW.
6. Верголяс М. Р. Кровь как интегральная система организма / М. Р. Верголяс // ScienceRise. – 2016. – Т. 2. – №. 1 (19). – С. 7-11.
7. Власов В. А. Рост и развитие африканского сома (*Clarias gariepinus* Burchell) в зависимости от условий кормления и содержания //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2009. – №. 3. – С. 148-156.
8. Власов В. А., Завьялов А. П., Есавкин Ю. И. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) //Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2012. – №. 7. –

С. 26.

9. Власов В. А., Маслова Н. И., Павлов А. Д. Сохранение и восстановление генофонда рыб аквакультуры России //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – №. 5. – С. 83-92.

10. Власов В.А. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) // Рыбовод. рыб. хоз. 2012. Т. 7. С. 26.

11. Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграф-Плюс, 2013а. 300 с.

12. Голованов В.К. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Поведение и распределение рыб. Т. 2 / Докл. II Всерос. совещ. «Поведение рыб» (Борок, июнь_1996 г.). Борок: ИБВВ, 1996. С. 16–40.

13. Голованов В.К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях // Вопр. ихтиол. 2013б. Т. 53 (3). С. 286–314.

14. Денисенко О.С. Первый опыт выращивания африканского клариевого сома (*Clarias garieppinus*) садковым способом в условиях русловых водоемов Краснодарского края // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков / Мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 20 декабря 2013 г.). Новосибирск: ЦРНС, 2013. С. 133–135.

15. Егоров А. О., Пашков А. Н. Оценка эффективности использования пониженных концентраций пробиотического препарата "моноспорин" при выращивании молоди африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) //Аквакультура сегодня. – 2015. – С. 121-126.

16. Иванов А. А., Пронина Г. И., Корягина Н. Ю., Ревякин А. О. Гомеостаз внутренней среды гидробионтов: видовые особенности хладнокровных // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2013. – №. 3. – С. 75-88.

17. Карабут Т. В России впервые за 10 лет снизилось производство аквакультурной рыбы // Российская газета - Федеральный выпуск: №32(9571). – 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.varpe.org/mass-media/razdel-1/v-rossii-vpervye-za-10-let-snizilos-proizvodstvo-akvakulturnoy-ryby/> (дата обращения: 21.08.2025).

18. Кауфман З. С. Адаптация гидробионтов к существованию в условиях высоких широт // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2015. – №. 1. – С. 3-19.

19. Климук А.А., Калита Т.Л., Брежнев Л.Л. Действие водного экстракта *Laminariocolax aecidioides* на биохимические показатели крови африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2023. № 39. С. 418–433.

20. Климук А. А., Головачева Н. А., Царьков М. Д., Семеряков Ю.В., Шкель А.А. Изменения гидрохимических параметров водной среды и биохимических показателей сыворотки крови рыб от плотности посадки в УЗВ // Рыбное хозяйство. – 2024а. – № 3. – С. 71-79. – DOI 10.36038/0131-6184-2024-3-71-79. – EDN LDDBDG.

21. Климук А. А., Пономарев А. К., Калита Т. Л., Никифоров-Никишин А. Л. Опыт выращивания гибридов первого поколения африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) при пониженных температурных режимах // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2024б. – № 1. – С. 20-28. – DOI 10.26296/2619-0605.2024.5.1.002. – EDN YFPIWV.

22. Климук А. А., Бекетов С. В., Калита Т. Л. Физиолого-экологические особенности выращивания африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* // Успехи современной биологии. – 2024в. – Т. 144, № 6. – С. 705-716. – DOI 10.31857/S0042132424060075. – EDN NRETMV.

23. Климук А. А. Анализ биохимических показателей крови молоди африканского сома *Clarias gariepinus* в условиях пониженных температур содержания // Вестник Керченского государственного морского

технологического университета. – 2025а. – № 2. – С. 36-45. – EDN ESIGWN.

24. Климук А. А., Бекетов С. В., Никифоров-Никишин А. Л., Кочетков Н. И. Оценка экстерьерных показателей родительских и гибридных форм африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* // Успехи современной биологии. – 2025б. – Т. 145, № 1. – С. 67-75. – DOI 10.31857/S0042132425010069. – EDN DMERSF.

25. Комлацкий В. И., Комлацкий Г. В., Величко В. А. Рыбоводство: учебник. – 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 200 с. ISBN 978-5-8114-2867-0

26. Кучко Т. Ю. Методы получения половых продуктов от производителей рыб. – 2015.

27. Любомирова В. Н., Романова Е. М., Шадыева Л. А., Спирина Е. В. Оптимизация температурного режима при выращивании клариевого сома в индустриальной аквакультуре // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах, Ульяновск, 20–21 июня 2019 года. Том 2019-1. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2019. – С. 179-183. – EDN PICTTJ.

28. Мельченков Е. А., Приз, В. В., Чертихина, Е. А., Канидьева, Т. А.. Африканский сом-перспективный объект аквакультуры в средней полосе России //Рыбное хозяйство. – 2008. – №. 6. – С. 72-77.

29. Микодина Е. В., Широкова Е. Н. Биологические основы и биотехника аквакультуры африканского сомика *Clarias gariepinus* //М.: ВНИПКИЭиАСУ. – 1997.

30. Озернюк Н.Д. Адаптационные особенности энергетического метаболизма в онтогенезе рыб // Онтогенез. 2011. Т. 42 (3). С. 235–240.

31. Подушка С. Б. Заготовка и использование в рыбоводстве гипофизов клариевого сома //Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2016. – №. 3. – С. 22.

32. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. – Рипол Классик,

1966.

33. Привезенцев Ю. А. Выращивание рыб в малых водоемах //М.: Колос. – 2000. – С. 5-62.

34. Рудой Д. В., Мальцева Т. А., Ольшевская А. В., Румянцева Е. В., Татарова А. А. Особенности культивирования африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) //Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. – 2023. – С. 270-273.

35. Савина Л. В., Серпунин Г. Г., Хрусталеv Е. И., Саускан В. И. Показатели крови клариевого сома (*Clarias gariepinus*) из установки замкнутого водоснабжения // Известия КГТУ. – 2019. – №. 55. – С. 103-110.

36. Статистические сведения по рыбной промышленности России. – М. : Изд-во ВНИРО, 2022. – 90 с.

37. Стратегия социально-экономического развития ЦФО на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/documents/2011/09/27/cfo-razvitie-site-dok.html>. (дата обращения: 21.08.2025).

38. Таразевич Е. В. Технологические аспекты формирования ремонтно-маточных стад форели, адаптированных к условиям Беларуси [Текст] : [монография]; Минсельхозпрод РБ, УО "БГАТУ". - Минск : БГАТУ, 2022. - 190 с. : ил. - (+ электронный вариант). - Библиогр.: с. 171-186. - ISBN 978-985-25-0161-3 : 7-82.

39. Abit L. Y., Mojilis M. I., Latif K. Successful hybridization between *Clarias microstomus*♂ and *Clarias gariepinus*♀ //Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation. – 2023. – Т. 16. – №. 6. – С. 3285-3295.

40. Abram Q. H., Dixon B., Katzenback B. A. Impacts of low temperature on the teleost immune system //Biology. – 2017. – Т. 6. – №. 4. – С. 39.

41. Adeshina I., Abdel-Tawwab I. Dietary taurine incorporation to high plant protein-based diets improved growth, biochemical, immunity, and antioxidants biomarkers of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.) //Fish Physiology and Biochemistry, 2020, vol. 46, no. 4, p. 1323-1335.

42. Adewolu M.A., Ogunsanmi A.O., Yunusa A. Studies on growth

performance and feed utilization of two clariid catfish and their hybrid reared under different culture systems // Eur. J. Sci. Res. 2008. V. 23 (2). P. 252–260.

43. Ahmad T., Singh S. P., Khangembam B. K., Sharma J. G., Chakrabarti R. Food consumption and digestive enzyme activity of *Clarias batrachus* exposed to various temperatures // Aquac. Nutr. 2014. V. 20 (3). P. 265–272.

44. Ahmed I., Reshi Q. M., Fazio F. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review //Aquaculture international. – 2020. – V. 28. – P. 869-899.

45. Al-Deghayem W.A., Suliman E.A. The effects of diet and temperature on enzymes, hormones, and fecundity of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) // J. Appl. Biol. Biotechnol. 2019. V. 7 (2). P. 71–77.

46. Atwood H. L., Tomasso J. R., Webb K., Gatlin Iii D. M. Low- temperature tolerance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: effects of environmental and dietary factors //Aquaculture Research. – 2003. – T. 34. – №. 3. – C. 241-251.

47. Besson M., Komen H., Aubin J., De Boer I. J. M., Poelman M., Quillet, E., Vancoillie C., Van Arendonk J. A. M. Economic values of growth and feed efficiency for fish farming in recirculating aquaculture system with density and nitrogen output limitations: a case study with African catfish (*Clarias gariepinus*) //Journal of animal science, 2014, vol. 92, no. 12, p. 5394-5405.

48. Boonbrahm M., Tarnchalanukit W., Suraniranat P. Experiments on hybridization of freshwater catfish, *Clarias macrocephalus* Günther and *Clarias batrachus*. – 1977. Borcard, D., Legendre, P. and Drapeau, P., 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. Ecology, 73(3), pp.1045-1055.

49. Bovendeur J., Eding E. H., Henken A. M. Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) //Aquaculture. – 1987. – T. 63. – №. 1-4. – C. 329-353.

50. Brummett R. E. *Clarias catfish*: Biology, ecology, distribution and biodiversity //Proceedings of a workshop on the development of a genetic improvement program for African catfish *Clarias gariepinus*. WorldFish Center

conference proceedings. – 2008. – №. 1889. – C. 64-72.

51. Bruton M. N. The breeding biology and early development of *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) in Lake Sibaya, South Africa, with a review of breeding in species of the subgenus *Clarias* (*Clarias*) //The Transactions of the Zoological Society of London. – 1979. – T. 35. – №. 1. – C. 1-45.

52. Burchell W. J. Travels in the interior of Southern Africa. Volume 2. – London: Printed for Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown, 1822.

53. Canedo A., de Jesus L. W. O., Bailão E. F. L. C., Rocha T. L. Micronucleus test and nuclear abnormality assay in zebrafish (*Danio rerio*): past, present, and future trends //Environmental Pollution. – 2021. – T. 290. – C. 118019.

54. Chandra Segaran T., Azra M. N., Piah R. M., Lananan F., Téllez-Isaías G., Gao H., Noordin N. M. Catfishes: A global review of the literature //Heliyon. – 2023. – T. 9. – №. 9. – C. e20081.

55. Chen W. H., Sun L. T., Tsai C. L., Song Y. L., Chang C. F. Cold-stress induced the modulation of catecholamines, cortisol, immunoglobulin M, and leukocyte phagocytosis in tilapia //General and comparative endocrinology. – 2002. – T. 126. – №. 1. – C. 90-100.

56. Chou M. Y., Hsiao C. D., Chen S. C., Chen I. W., Liu S. T., Hwang P. P. Effects of hypothermia on gene expression in zebrafish gills: upregulation in differentiation and function of ionocytes as compensatory responses //Journal of Experimental Biology. – 2008. – T. 211. – №. 19. – C. 3077-3084.

57. Colcombet J., Hirt H. Arabidopsis MAPKs: a complex signalling network involved in multiple biological processes //Biochemical Journal. – 2008. – T. 413. – №. 2. – C. 217-226.

58. Dawood M. A. O., Noreldin A. E., Sewilam H. Blood biochemical variables, antioxidative status, and histological features of intestinal, gill, and liver tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to high salinity and high-temperature stress //Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – T. 29. – №. 37. – C. 56357-56369.

59. de Abreu, J. S., Sanabria-Ochoa, A. I., Goncalves, F. D., and Urbinati, E. C. (2008). Stress responses of juvenile matrinxa (*Brycon amazonicus*) after transport in a closed system under different loading densities. *Cienc. Rural* 38, 1413–1417. doi: 10.1590/s0103-84782008000500034
60. De Graaf G. et al. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in sub-Saharan Africa. A handbook. – 1996.
61. De Kimpe P., Micha, J.C. 1974. First guideline for culture of *Clarias lazera* in Central Africa. *Aquaculture*, 4: 227–248.
62. Dedukh D., Lisachov A., Panthum T., Singchat W., Matsuda Y., Imai Y., Srikulnath K. Meiotic deviations and endoreplication lead to diploid oocytes in female hybrids between bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) and North African catfish (*Clarias gariepinus*) //Frontiers in Cell and Developmental Biology. – 2024. – T. 12. – C. 1465335.
63. Dellagostin E. N., Martins A. W., Blödorn E. B., Silveira T. L. R., Komninou E. R., Junior A. S. V., Campos V. F. Chronic cold exposure modulates genes related to feeding and immune system in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) //Fish & Shellfish Immunology. – 2022. – T. 128. – C. 269-278.
64. Dhanasiri A. K. S., Fernandes J. M. O., Kiron V. Acclimation of zebrafish to transport stress //Zebrafish. – 2013. – T. 10. – №. 1. – C. 87-98.
65. Dhawan A., Kaur K. *Clarias gariepinus* in Punjab waters //Fishing Chimes. – 2001. – T. 21. – №. 5. – C. 56.
66. Dijkema R. Developments in cultivating the African catfish (*Clarias gariepinus*) in the Netherlands: technics, markets, perspectives. – 1992.
67. Dobšíková R., Svobodová Z. V. A. F., Bláhová J. V. A. F., Modra H., Velišek, J. The effect of transport on biochemical and haematological indices of common carp (*Cyprinus carpio* L.) //Czech Journal of Animal Science. – 2009. – T. 54. – №. 11. – C. 510-518.
68. Donaldson M. R., Cooke S. J., Patterson D. A., Macdonald J. S. Cold shock and fish //Journal of Fish Biology. – 2008. – T. 73. – №. 7. – C. 1491-1530.
69. Dunham R. A., Liu Z. Gene mapping, isolation and genetic improvement

in catfish //Aquatic genomics: steps toward a great future. – 2003. – C. 45-60.

70. Dunham R. A., Masser M. P. Production of hybrid catfish. – Stoneville, Mississippi: Southern Regional Aquaculture Center, 2012. – T. 436. SRAC Publication No. 190

71. Eding E., Kamstra A. 2002. Netherlands farms tune recirculation systems to production of varied species. Global Aquaculture Advocate, 5: 52–54.

72. El-Hawarrya W. N., Abd El-Rahmanb S. H., Shourbelaa R. M. Breeding response and larval quality of African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) using different hormones/hormonal analogues with dopamine antagonist, The Egyptian Journal of Aquatic Research, 42(2), 231-239 (2016) doi: 10.1016/j.ejar.2016.06.003

73. Fagbuaro O., Oso J. A., Olurotimi M. B., Akinyemi O. Morphometric and meristic characteristics of *Clarias gariepinus* from controlled and uncontrolled population from Southwestern Nigeria //Journal of agriculture and ecology research international. – 2015. – T. 2. – №. 1. – C. 39-45.

74. Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review //Aquaculture. – 2019. – V. 500. – P. 237-242

75. Gabriel U. U., Akinrotimi O. A., Ariweriokuma V. S. Changes in metabolic enzymes activities in selected organs and tissue of *Clarias gariepinus* exposed to cypermethrin //Journal of Chemical Engineering. – 2012. – T. 1. – №. 1. – C. 25-30.

76. Gadissa S., Devi L. P. Evaluation of spawning induction of African catfish (*Clarias gariepinus*) by heteroplastic hypophysation //International journal of fisheries and aquatic studies. – 2013. – T. 1. – №. 1. – C. 22-25.

77. German D.P., Bittong R.A. Digestive enzyme activities and gastrointestinal fermentation in wood-eating catfishes // J. Comp. Physiol. B. 2009. V. 179. P. 1025–1042.

78. Goyard E., Goarant C., Ansquer D., Brun P., De Decker S., Dufour R., Patrois J. Cross breeding of different domesticated lines as a simple way for genetic improvement in small aquaculture industries: Heterosis and inbreeding

effects on growth and survival rates of the Pacific blue shrimp *Penaeus* (*Litopenaeus*) *stylirostris* //Aquaculture. – 2008. – T. 278. – №. 1-4. – C. 43-50.

79. Gracey A. Y., Fraser E. J., Li W., Fang Y., Taylor R. R., Rogers J., Cossins, A. R. Coping with cold: an integrative, multitissue analysis of the transcriptome of a poikilothermic vertebrate //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2004. – T. 101. – №. 48. – C. 16970-16975.

80. Green B. W., Rawles S. D. Comparative growth and yield of channel catfish and channel× blue hybrid catfish fed a full or restricted ration //Aquaculture Research. – 2010. – T. 41. – №. 9. – C. e109-e119.

81. Haylor G. S. The case for the African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822, Clariidae: a comparison of the relative merits of Tilapiine fishes, especially *Oreochromis niloticus* (L.) and *C. gariepinus* Burchell, for African aquaculture //Aquaculture Research. – 1989. – T. 20. – №. 3. – C. 279-285.

82. Haylor G. S., Mollah M. F. A. Controlled hatchery production of African catfish, *Clarias gariepinus*: the influence of temperature on early development //Oceanographic Literature Review. – 1996. – T. 7. – №. 43. – C. 718.

83. Hecht T., Lublinkhof W. *Clarias gariepinus*× *Heterobranchus longifilis* (Clariidae: Pisces): a new hybrid for aquaculture. – 1985.

84. Hoffman L. C., Prinsloo J. F., Pretorius D. M., Theron, J. Observations on the effects of decreasing water temperatures on survival of *Clarias gariepinus* juveniles //South African Journal of Wildlife Research-24-month delayed open access. – 1991. – T. 21. – №. 2. – C. 54-58.

85. Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): I. Reproductive biology and field experiments //Aquaculture. – 1979. – T. 17. – №. 4. – C. 323-333.

86. Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): IV. Effect of feeding regime in fingerling culture //Aquaculture. – 1981. – T. 24. – C. 123-131.

87. Hogendoorn H. Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): III. Feeding and growth of fry //Aquaculture. – 1980. – T. 21. –

№. 3. – C. 233-241.

88. Hogendoorn, H., Jansen, J.A.J., Koops, W.J., Machiels, M.A.M., Van Ewijk, P.H., Van Hees, J.P. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture //Aquaculture. – 1983. – T. 34. – №. 3-4. – C. 265-285.

89. Holčík J. Fish introductions in Europe with particular reference to its central and eastern part //Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1991. – T. 48. – №. S1. – C. 13-23.

90. Hu P., Liu M., Liu Y., Wang J., Zhang D., Niu H., Chen, L. Transcriptome comparison reveals a genetic network regulating the lower temperature limit in fish //Scientific reports. – 2016. – T. 6. – №. 1. – C. 28952.

91. Huisman E. A., Richter C. J. J. Reproduction, growth, health control and aquacultural potential of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) //Aquaculture. – 1987. – T. 63. – №. 1-4. – C. 1-14.

92. Islam M. N., Islam M. S., Alam M. S. Genetic structure of different populations of walking catfish (*Clarias batrachus* L.) in Bangladesh //Biochemical genetics. – 2007. – T. 45. – C. 647-662.

93. Iswanto B., Imron I., Suprpto R., Marnis H. Morphological characterization of the African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) strains introduced to Indonesia //Indonesian Aquaculture Journal. – 2015. – T. 10. – №. 2. – C. 91-99.

94. Isyagi N. A. et al. Manual for the commercial pond production of the African catfish in Uganda //Kampala. – 2009. – T. 222.

95. Isyagi N. A., Veverica K. L., Asiimwe R., Daniels W. H. Heat shock proteins and physiological stress in fish //American Zoologist. – 1999. – T. 39. – №. 6. – C. 901-909.

96. Janssen J. Pond culture of the African Clariid catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) with special emphasis to its management //Nigeria, Port Harcourt: African Regional Aquaculture Centre. – 1987. – C. 52.

97. Jawad L. A., Farrag M. M. S., Park J. M. Interspecific and intraspecific

differences in pectoral-fins spine morphology in Nile River and Lake Nasser catfishes, Siluriformes //Proceedings of the Zoological Institute RAS. – 2021. – T. 325. – №. 3. – C. 308-322.

98. Jeong H., Kang M., Cha S. Y., Byun J., Kim J., Baek J. W., Cheon, Y. P. Usefulness of clustering blood biochemical markers to assess thermal stress and acclimation in red seabream, *Pagrus major* //Aquaculture. – 2021. – T. 545. – C. 737197.

99. Johnston P. V., Roots B. I. Brain lipid fatty acids and temperature acclimation //Comparative Biochemistry and Physiology. – 1964. – T. 11. – №. 3. – C. 303-309.

100. Ju Z., Dunham R. A., Liu Z. Differential gene expression in the brain of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in response to cold acclimation //Molecular Genetics and Genomics. – 2002. – T. 268. – C. 87-95.

101. Kassambara A., Mundt F. factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses (version 1.0. 7) //CRAN-R Package. – 2020.

102. Kim H. J., Lee J. H., Hur Y. B., Lee C. W., Park S. H., Koo B. W. Marine antifreeze proteins: structure, function, and application to cryopreservation as a potential cryoprotectant //Marine drugs. – 2017. – T. 15. – №. 2. – C. 27.

103. Koolboon U., Koonawootrittriron S., Kamolrat W., Na-Nakorn U. Effects of parental strains and heterosis of the hybrid between *Clarias macrocephalus* and *Clarias gariepinus* //Aquaculture. – 2014. – V. 424. – P. 131-139.

104. Lahnsteiner F., Dünser A. Hematological and Physiological Changes in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Exposed for 30 Days to Critical Low Temperature //Aquaculture Research. – 2024. – T. 2024. – №. 1. – C. 2925959.

105. Legendre M., Teugels G. G., Cauty, C., Jalabert, B. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840, and their reciprocal hybrids (Pisces, Clariidae) //Journal of Fish Biology. – 1992. – T. 40. – №. 1. – C. 59-79.

106. Lemaire P., Draï P., Mathieu A., Lemarie S., Carrière S., Guidicelli J., et al. (1991). Changes with different diets in plasma enzymes (GOT, GPT, LDH, ALP) and plasma lipids (cholesterol, triglycerides) of sea-bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 93, 63–75. doi: 10.1016/0044-8486(91)90205-L
107. Lermen C. L., Lappe R., Crestani M., Vieira V. P., Gioda C. R., Schetinger M. R. C., Morsch V. M. Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen* // *Aquaculture*. – 2004. – T. 239. – №. 1-4. – C. 497-507.
108. Libisch B., Sándor Z. J., Keresztény T., Ozoaduche C. L., Papp P. P., Posta K., Olasz, F. Effects of Short-Term Feeding with Diets Containing Insect Meal on the Gut Microbiota of African Catfish Hybrids // *Animals*. – 2025. – T. 15. – №. 9. – C. 1338.
109. Logan C. A., Buckley B. A. Transcriptomic responses to environmental temperature in eurythermal and stenothermal fishes // *The Journal of experimental biology*. – 2015. – T. 218. – №. 12. – C. 1915-1924.
110. Long, Y., Song, G., Yan, J., He, X., Li, Q., & Cui, Z. Transcriptomic characterization of cold acclimation in larval zebrafish // *BMC genomics*. – 2013. – T. 14. – C. 1-16.
111. Lu D. L., Ma Q., Wang J., Li L. Y., Han S. L., Limbu S. M., Du, Z. Y. Fasting enhances cold resistance in fish through stimulating lipid catabolism and autophagy // *The Journal of physiology*. – 2019. – T. 597. – №. 6. – C. 1585-1603.
112. Luo, Z., Huang, W., Wang, G., Sun, H., Chen, X., Luo, P., Shu, H. Identification and characterization of p38MAPK in response to acute cold stress in the gill of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // *Aquaculture Reports*. – 2020. – T. 17. – C. 100365.
113. Maechler M., Rousseeuw P. J., Struyf A., Hubert M., Hornik K.: cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions, R package version 2.1.4 [code], <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/> (last access: 11 October 2023), 2022.
114. Maricondi-Massari M., Kalinin A. L., Glass M. L., Rantin F. T. The

effects of temperature on oxygen uptake, gill ventilation and ECG waveforms in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* //Journal of Thermal Biology. – 1998. – T. 23. – №. 5. – C. 283-290.

115. Mukhopadhyay S. M., Dehadrai P. V. Survival of hybrids between air-breathing catfishes *Heteropneustes fossilis* (Bloch) and *Clarias batrachus* (Linn.) //Matsya. – 1987. – T. 12. – №. 13. – C. 162-164.

116. Mylonasa C. C., Fostierb A., Zanuy S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction, General and Comparative Endocrinology, 165(3), 516-534 (2010) doi: 10.1016/j.ygcen.2009.03.007

117. Nabi S., Tanveer S., Ganie S. A., Bashir, K. Oxidative stress, serum biochemistry and DNA damage of *Cyprinus carpio communis* naturally infected with helminths //International Aquatic Research. – 2022. – T. 14. – №. 1. – C. 13.

118. Na-Nakorn U., Kamonrat W., Ngamsiri T. Genetic diversity of walking catfish, *Clarias macrocephalus*, in Thailand and evidence of genetic introgression from introduced farmed *C. gariepinus* //Aquaculture. – 2004a. – V. 240. – N. 1-4. – P. 145-163

119. Na-Nakorn U., Rangsin W., Boon-ngam J. Allotriploidy increases sterility in the hybrid between *Clarias macrocephalus* and *Clarias gariepinus* //Aquaculture. – 2004. – T. 237. – №. 1-4. – C. 73-88.

120. National Research Council et al. Successful K-12 STEM education: Identifying effective approaches in science, technology, engineering, and mathematics. – National Academies Press, 2011.

121. Nguyen, D. H. M., Panthum, T., Ponjarat, J., Laopichienpong, N., Kraichak, E., Singchat, W., Ahmad S. F., Muangmai N., Peyachoknagul S., Na-Nakorn U., Srikulnath, K. An Investigation of ZZ/ZW and XX/XY Sex Determination Systems in North African Catfish (*Clarias gariepinus*,) //Frontiers in Genetics. – 2021. – T. 11. – C. 562856.

122. Nikiforov-Nikishin, D., Antipov, S., Kochetkov, N., Nikiforov-Nikishin, A., & Bychkova, T. Evaluation of secretory activity in carp pancreatocytes (*Cyprinus carpio* L.) when using lactobacillus-based chelate and

probiotic supplemental feed complexes //Brazilian Journal of Biology. – 2021. – T. 83. – C. e250219.

123. Normala J., Mohd A. A., Munafi Ambok B. A., Nur A.A., Khor W. K., Okomoda, T. V., Md Sheriff Shahreza M. S. S. Morphometric variations between triploid and diploid *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Croatian Journal of Fisheries, 2017, Vol. 75, No. 4, 113-121.

124. Ogunji J. O., Awoke J. Effect of environmental regulated water temperature variations on survival, growth performance and haematology of African catfish, *Clarias gariepinus* //Our Nature. – 2017. – T. 15.

125. Ohlberger J., Mehner T., Staaks G., Hölker F. Temperature- related physiological adaptations promote ecological divergence in a sympatric species pair of temperate freshwater fish, *Coregonus* spp //Functional Ecology. – 2008. – T. 22. – №. 3. – C. 501-508.

126. Olaniyi W. A., Omitogun O. G. Stages in the early and larval development of the African catfish *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae) //Zygote. – 2014. – T. 22. – №. 3. – C. 314-330.

127. Pakhira C., Nagesh T. S., Abraham T. J., Dash G., Behera S. Stress responses in rohu, *Labeo rohita* transported at different densities //Aquaculture Reports. – 2015. – T. 2. – C. 39-45.

128. Palma P. A., Bekaert M., Gutierrez A. P., Abacan E. J. C., Migaud H., Betancor M. B. Plasticity of thermal tolerance and associated gill transcriptome in ballan wrasse (*Labrus bergylta*) //Frontiers in Marine Science. – 2025. – T. 11. – C. 1507994.

129. Panepucci L., Fernandes M. N., Sanches J. R., Rantin F. T. Changes in lactate dehydrogenase and malate dehydrogenase activities during hypoxia and after temperature acclimation in the armored fish, *Rhinelepis strigosa* (Siluriformes, Loricariidae) //Revista brasileira de biologia. – 2000. – T. 60. – C. 353-360.

130. Patta C., Panthum T., Thatukan C., Wongloet W., Chalermwong P., Wattanadilokchatkun P., Srikulnath K. Questioning inbreeding: Could outbreeding

affect productivity in the North African catfish in Thailand? //Plos one. – 2024. – T. 19. – №. 5. – C. e0302584.

131. Petitjean Q., Jean S., Gandar A., Côte J., Laffaille P., Jacquin L. Stress responses in fish: From molecular to evolutionary processes //Science of the Total Environment. – 2019. – T. 684. – C. 371-380.

132. Phrompanya P., Panase, P., Saenphet S., Saenphet K. Histopathology and oxidative stress responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to temperature shocks //Fisheries Science. – 2021. – T. 87. – №. 4. – C. 491-502.

133. Prokešová M., Drozd B., Kouřil J., Stejskal V., Matoušek J. Effect of water temperature on early life history of African sharp-tooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) //Journal of Applied Ichthyology. – 2015. – T. 31. – C. 18-29.

134. Qian B., Xue L. Liver transcriptome sequencing and de novo annotation of the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) under heat and cold stress //Marine Genomics. – 2016. – T. 25. – C. 95-102.

135. Rahman M. A., Bhadra A., Begum N., Islam M. S., Hussain M. G. Production of hybrid vigor through cross breeding between *Clarias batrachus* Lin. and *Clarias gariepinus* Bur //Aquaculture. – 1995. – T. 138. – №. 1-4. – C. 125-130.

136. Rebl A., Verleih M., Köbis J. M., Kühn C., Wimmer, K., Köllner B., Goldammer T. Transcriptome profiling of gill tissue in regionally bred and globally farmed rainbow trout strains reveals different strategies for coping with thermal stress //Marine Biotechnology. – 2013. – T. 15. – C. 445-460.

137. Refaey M. M., Mehrim A. I., El-Komy M. M., Zenhom O. A., Mansour A. T. Chronic cold-stress induced histopathological changes, oxidative stress, and alterations in liver functions and nutrient composition of hybrid red tilapia and the potential protection of unsaturated fatty acids //Frontiers in Marine Science. – 2023. – T. 10. – C. 1148978.

138. Reid C. H., Patrick P. H., Rytwinski T., Taylor J. J., Willmore W. G., Reesor, B., Cooke S. J. An updated review of cold shock and cold stress in fish

//Journal of fish biology. – 2022. – T. 100. – №. 5. – C. 1102-1137.

139. Ren J., Long Y., Liu R., Song G., Li, Q., Cui, Z. Characterization of biological pathways regulating acute cold resistance of zebrafish //International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – T. 22. – №. 6. – C. 3028.

140. Roodt-Wilding R., Swart B. L., Impson N. D. Genetically distinct Dutch-domesticated *Clarias gariepinus* used in aquaculture in southern Africa //African Journal of Aquatic Science. – 2010. – T. 35. – №. 3. – C. 241-249.

141. Sadoul B., Geffroy B. Measuring cortisol, the major stress hormone in fishes //Journal of Fish Biology. – 2019. – T. 94. – №. 4. – C. 540-555.

142. Sanda M. K., Metcalfe N. B., Capstick M., Nichols J., Mable B. K. Genetic diversity, population structure and differentiation of farmed and wild African catfish (*Clarias gariepinus*) in Nigeria //bioRxiv. – 2024. – C. 2024.10.15.618429.

143. Schönhuth S., Luikart G., Doadrio I. Effects of a founder event and supplementary introductions on genetic variation in a captive breeding population of the endangered Spanish killifish //Journal of Fish Biology. – 2003. – T. 63. – №. 6. – C. 1538-1551.

144. Seebens H., Blackburn T., Dyer E. et al. No saturation in the accumulation of alien species worldwide // Nat. commun. 2017. V. 8 (1). P. 14435.

145. Senanan W., Kapuscinski A. R., Na-Nakorn U., Miller L. M. Genetic impacts of hybrid catfish farming (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) on native catfish populations in central Thailand //Aquaculture. – 2004. – T. 235. – №. 1-4. – C. 167-184.

146. Shikano T., Taniguchi N. Relationships between genetic variation measured by microsatellite DNA markers and a fitness-related trait in the guppy (*Poecilia reticulata*) //Aquaculture. – 2002. – T. 209. – №. 1-4. – C. 77-90.

147. Shin S. J., Kim T. Y., Lee J. Y., Bian L. Cognitive team diversity and individual team member creativity: A cross-level interaction //Academy of management journal. – 2012. – T. 55. – №. 1. – C. 197-212.

148. Siliciano J. D., Canman C. E., Taya Y., Sakaguchi K., Appella E.,

Kastan M. B. DNA damage induces phosphorylation of the amino terminus of p53 //Genes & development. – 1997. – T. 11. – №. 24. – C. 3471-3481.

149. Singh A. K. Impact of unauthorised exotic fish introduction on conservation and aquacultural development of the north east region //NBFGR-NATP Publ. – 2000. – №. 2. – C. 155-156.

150. Singh S. P., Sharma J. G., Ahmad T., Chakrabarti R. Effect of water temperature on the physiological responses of Asian catfish *Clarias batrachus* (Linnaeus 1758) //Asian Fisheries Science. – 2013. – T. 26. – №. 1. – C. 26-38.

151. Solomon R. J., Taruwa S. M. The Growth comparison of two catfishes (*C. Gariepinus* and *Heteroclarias*), Nature and Science. – 2011.

152. Somero G. N. Adaptation of enzymes to temperature: searching for basic “strategies” //Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. – 2004. – T. 139. – №. 3. – C. 321-333.

153. Sula E., Aliko V., Marku E., Nuro A., Faggio C. Evaluation of kidney histopathological alterations in Crucian Carp, *Carassius carassius*, from a pesticide and PCB-contaminated freshwater ecosystem, using light microscopy and organ index mathematical model //International journal of aquatic biology. – 2020. – T. 8. – №. 3. – C. 154-165.

154. Suvarna K. S., Layton C., Bancroft J. D. Bancroft's theory and practice of histological techniques E-Book. – Elsevier health sciences, 2018.

155. Tarnchalanukit W. Experimental hybridization between catfishes of the families Clariidae and Pangasiidae in Thailand //Environmental biology of fishes. – 1986. – T. 16. – C. 317-320.

156. Teugels G. G., Sudarto P. L., Pouyard L. Description of a new *Clarias* species from Southeast Asia based on morphological and genetical evidence (Siluriformes, Clariidae) //Cybium. – 2001. – T. 25. – C. 81-92.

157. Thorne M. A. S., Burns G., Fraser K. P. P., Hillyard G., Clark M. S. Transcription profiling of acute temperature stress in the Antarctic plunderfish *Harpagifer antarcticus* //Marine Genomics. – 2010. – T. 3. – №. 1. – C. 35-44.

158. Tine M., Ndiaye F., Bale K., Magblenou L. D., Sene M. A. Effects of

inbreeding depression on the success of artificial reproduction in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) //Int. J. Aquac. Fish. Sci. – 2022. – T. 8. – C. 045-053.

159. Tkacheva I., Kuzov A., Polienko S., Polyakov V. Intravital method for the obtaining genital products from the male African catfish //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – T. 210. – C. 07011.

160. Toko I., Fiogbe E. D., Koukpode B., Kestemont P. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): Effect of stocking density on growth, production and body composition //Aquaculture. – 2007. – T. 262. – №. 1. – C. 65-72.

161. Tonguthai K., Chinabut S., Limsuwan C., Somsiri T., Chanratchakool P., Kanchanakhan S., MacRae I. Handbook of hybrid catfish: husbandry and health //Jatujak: Aquatic Animal Health Research Institute, Department of fisheries. – 1993. – C. 70.

162. Turan C., Yalçın S., Turan F., Okur E., Akyurt I. Morphometric comparisons of African catfish, *Clarias gariepinus*, populations in Turkey //Folia Zoologica. – 2005. – T. 54. – №. 1/2. – C. 165.

163. Vakili F., Roosta Z., Hoseinifar S. H., Akbarzadeh A. Effects of thermal stress and hypoxia on skin mucus immune and stress responses in blue gourami (*Trichogaster trichopterus*) cultured in intensive recirculation aquaculture system and semi- intensive systems //Aquaculture Research. – 2021. – T. 52. – №. 12. – C. 6581-6590.

164. Velmurugan B. K., Chan C. R., Weng C. F. Innate- immune responses of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) exposure to acute cold stress //Journal of Cellular Physiology. – 2019. – T. 234. – №. 9. – C. 16125-16135.

165. Vergauwen L., Benoot D., Blust R., Knapen D. Long-term warm or cold acclimation elicits a specific transcriptional response and affects energy metabolism in zebrafish //Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. – 2010. – T. 157. – №. 2. – C. 149-157.

166. Viveen W.J.A.R., Richter C.J.J., van Oordt P.G.W.J., Janssen J.A.L.

Huisman E.A. 1985. *Practical manual for the culture of the African catfish* (*Clarias gariepinus*). The Hague, the Netherlands, Directorate General International Cooperation of the Ministry of Foreign Affairs; the Netherlands, Dept. of Fish Culture and Fisheries of the Agricultural University of Wageningen; the Netherlands, Research Group for Comparative Endocrinology, Dept. of Zoology of the University of Utrecht. 107 pp.

167. Wachirachaikarn A., Rungsin W., Srisapoom P., Na-Nakorn U. Crossing of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), strains based on strain selection using genetic diversity data //Aquaculture. – 2009. – T. 290. – №. 1-2. – C. 53-60.

168. Wembiao Z., Jionghua P., Wensheng L. Culture of catfish in China //Aquaculture. – 1988. – T. 75. – №. 1-2. – C. 35-44.

169. Wickham H., Averick M., Bryan J., Chang W., McGowan L. D. A., François R., Yutani H. Welcome to the Tidyverse //Journal of open source software. – 2019. – T. 4. – №. 43. – C. 1686.

170. Xu P., Zhang X., Wang X., Li J., Liu G., Kuang, Y., Sun X. Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio* //Nature genetics. – 2014. – T. 46. – №. 11. – C. 1212-1219.

171. Zhou T., Gui L., Liu M., Li W., Hu P., Duarte D. F., Chen L. Transcriptomic responses to low temperature stress in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* //Fish & shellfish immunology. – 2019. – T. 84. – C. 1145-1156.

172. Zhu W., Li Q., Peng M., Yang C., Chen X., Feng P., Zhao, Y. Biochemical indicators, cell apoptosis, and metabolomic analyses of the low-temperature stress response and cold tolerance mechanisms in *Litopenaeus vannamei* //Scientific Reports. – 2024. – T. 14. – №. 1. – C. 15242

Приложение А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных морфометрических показателей африканского клариевого сома

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных

№ 2025621921

**«База данных морфометрических показателей
африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*)»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)» (RU)*

Авторы: *Климук Анастасия Алексеевна (RU), Никифоров-Никишин Дмитрий Львович (RU), Климов Виктор Александрович (RU), Сергазиева Ольга Дмитриевна (RU)*

Заявка № **2025620397**
Дата поступления **14 февраля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **28 апреля 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Ю.С. Zubov**



Приложение Б. Рыбоводная инструкция

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И
УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ К.Г. РАЗУМОВСКОГО (ПЕРВЫЙ КАЗАЧИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

«Евразийский центр гидроэкологии и органического рыбоводства»
(НЭЦ «ЗЕЛЕННЫЕ АКВАТЕХНОЛОГИИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «МГУТУ
им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

Д.М. Володихин

«04» марта 2025 г.



Рыбоводная инструкция
выращивания товарных экземпляров африканского
клариевого сома *Clarias gariepinus*
в прудах III-IV зон рыбоводства

Москва, 2025

УДК 639.3.045.3 Акклиматизация к температурным условиям
639.371.7 Разведение сомовых

Рыбоводная инструкция выращивания клариевого сома разработана на факультете Биотехнологий и рыбного хозяйства Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), по результатам исследований апробации 2022-2025 гг.

Авторы (разработчики):

Климук А.А., Никифоров-Никишин А.Л., Бахарева А.А., Горбунов А.В.

Рыбоводная инструкция выращивания клариевого сома рассмотрена и одобрена на заседании методической комиссии факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Протокол № 5 от «23» января 2025 г.) и НТС Университета (Протокол № 4 от «04» марта 2025 г.)

Приводится рыбоводная инструкция по выращиванию акклиматизированного к пониженным температурам гибридного потомства африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (михайловская × таманская) в прудовых хозяйствах Курской и Белгородской областей (III и IV рыбоводные зоны). Инструкция предусматривает ведение селекционного отбора и использование модулей УЗВ для получения жизнестойкой гибридной молоди с высоким выходом товарной продукции. Рыбоводная инструкция основывается на экспериментальных результатах исследований, выполненных с использованием уникальной научной установки (УНУ) НТИ РФ Рег. № 3662433 - «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» с учетом Приоритетных направлений НТР - п.3 Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство и перечня важнейших наукоёмких технологий (Указ Президента РФ от 18.06.2024г. № 529) - п.7 Технологии повышения продуктивности (в том числе с помощью селекции) сельскохозяйственных животных и их устойчивости к заболеваниям;

Рыбоводная инструкция предназначена для использования в неполносистемных нагульных прудовых хозяйствах для перехода действующих рыбоводных хозяйств, участков и прудов в высокоэффективные.

Инструкция вводится впервые в порядке научно-хозяйственных испытаний на период 2025-2035 гг.

© ФГБОУ ВО «МГУТУ им.
К.Г. Разумовского (ПКУ)», 2025

Приложение В. Акты о зарыблении прудовых хозяйств

Акт приема-передачи образцов для проведения исследований (испытаний)

№ 5 от 10 июля 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)» (ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»), именуемое в дальнейшем «Заказчик», в лице декана факультета Биотехнологии и рыбного хозяйства Никифорова-Никишина Алексея Львовича передает, и КФХ Макаров Владимир Александрович, именуемое далее «Исполнитель», в лице руководителя Макарова Владимира Александровича именуемые далее «Стороны» принимает образцы для проведения исследований (испытаний) в составе и количестве, указанном ниже:

Наименование и описание передаваемых образцов	Количество передаваемых образцов (шт.)	Наименование исследований (испытаний)
Сом клариевый (гибрид п. «Таманская» х «Михайловская» 1е поколение), навеской 7-10 г	1000 шт	проведение эксперимента по выращиванию и оценке рыбоводно-биологических показателей

Настоящим Стороны подтверждают, что образцы переданы в объеме, необходимом для проведения исследований (испытаний) и в срок.

Условия хранения и транспортирования образцов соблюдены и соответствуют требованиям к условиям хранения и транспортирования данного вида вещества (материала). При передаче образцов Заказчиком Исполнителю целостность/герметичность всех образцов, а также упаковок не нарушена.

Документация, материалы, пояснения и иная информация, необходимая для выполнения работ, предоставлены Заказчиком Исполнителю своевременно и в полном объеме.

ОБРАЗЦЫ ПЕРЕДАЛ:

Представитель Заказчика

Декан факультета БиРХ

Никифоров-Никишин А.Л.



ОБРАЗЦЫ ПРИНЯЛ:

Представитель Исполнителя

Руководитель

Макаров В.А.



Акт приема-передачи образцов для проведения исследований (испытаний)

№ 5 от 07 июня 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)» (ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»), именуемое в далее «**Заказчик**», в лице декана факультета Биотехнологии и рыбного хозяйства Никифорова-Никишина Алексея Львовича передает, и Закрытое акционерное общество "Голубая нива", именуемое далее «**Исполнитель**», в лице генерального директора Плигунова Николая Васильевича именуемые далее «**Стороны**» принимает образцы для проведения исследований (испытаний) в составе и количестве, указанном ниже:

Наименование и описание передаваемых образцов	Количество передаваемых образцов (шт.)	Наименование исследований (испытаний)
Сом клариевый (гибрид п. «Таманская» х «Михайловская» 2е поколение), навеской 7-10 г	2000 шт	проведение эксперимента по выращиванию и оценке рыбоводно-биологических показателей

Настоящим **Стороны** подтверждают, что образцы переданы в объеме, необходимом для проведения исследований (испытаний) и в срок.

Условия хранения и транспортирования образцов соблюдены и соответствуют требованиям к условиям хранения и транспортирования данного вида вещества (материала). При передаче образцов **Заказчиком** **Исполнителю** целостность/герметичность всех образцов, а также упаковок не нарушена.

Документация, материалы, пояснения и иная информация, необходимая для выполнения работ, предоставлены **Заказчиком** **Исполнителю** своевременно и в полном объеме.

ОБРАЗЦЫ ПЕРЕДАЛ:

Представитель **Заказчика**

Декан факультета БиРХ

Никифоров-Никишин А.Л.



ОБРАЗЦЫ ПРИНЯЛ:

Представитель **Исполнителя**

Генеральный директор

Плигунов Н.В.



Приложение Г. Акты об облове прудовых хозяйств 2023 и 2024 гг.

АКТ об облове нагульного пруда

г. Валуйки, Белгородская область

№ 1 от 05 сентября 2023 г

1. Основание проведения облова

Настоящий акт составлен на основании требований нормативно-учетной документации по зарыблению прудов и проведению контрольных обловов в целях оценки эффективности выращивания рыбопосадочного материала.

2. Сведения о сторонах

Составил:

КФХ «КРЕСТЬЯНСКОЕ (ФЕРМЕРСКОЕ) ХОЗЯЙСТВО»

Руководитель / Ответственный за рыбоводство: Макаров Владимир Александрович. Адрес: Белгородская область, г. Валуйки

3. Сведения о посадке рыбопосадочного материала

Рыбопосадочный материал, вид	<i>Clarias gariepinus</i>
Порода, кросс, линия и тд.	Гибриды F ₁ пород михайловская и таманская
Количество рыб, экз	1000
Индивидуальная масса рыб, г	102,0±12,0
Плотность посадки, экз/га	2 500

4. Характеристика пруда

Рыбоводная зона	IV
Площадь пруда, га	0,4
Глубина пруда, м	1,2

5. Результаты контрольного облова

Период от посадки рыбы до облова, сут	152
Длительность выращивания, сут	90
Общая биомасса, кг	728,8
Рыбопродуктивность, т/га	1,8
Выход сома из пруда, %	79

4. Заключение

Контрольный облов проведен в полном соответствии с действующими методическими рекомендациями. Полученные показатели свидетельствуют об эффективности технологии выращивания африканского клариевого сома в условиях IV рыбоводной зоны в мелководном нагульном пруде площадью 0,4 га.

Рыбопродуктивность 1,8 т/га при сохранности 79% соответствует ожидаемым значениям для данного вида при заданных условиях выращивания.

5. Подписи сторон

Составил:
Макаров Владимир Александрович

«05» сентября 2023 г.

Принял (представитель ФГБОУ ВО МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ):
Климов Виктор Александрович

«05» сентября 2023 г.

АКТ об облове нагульного пруда

г Железнодорожск, Курская область

от 29 сентября 2024 г

1. Основание проведения облова

Настоящий акт составлен на основании требований нормативно-учетной документации по зарыблению прудов и проведению контрольных обловов в целях оценки эффективности выращивания рыбопосадочного материала.

2. Сведения о сторонах

Составил:

ЗАО «ГОЛУБАЯ НИВА»

Руководитель / Ответственный за рыбоводство: Николай Васильевич Плигунов. Адрес: Курская область, Железнодорожский район, Троицкий сельсовет, деревня Старый Бузец

3. Сведения о посадке рыбопосадочного материала

Рыбопосадочный материал, вид	<i>Clarias gariepinus</i>
Порода, кросс, линия и тд.	Гибриды F ₂
Количество рыб, экз	2 000
Индивидуальная масса рыб, г	108,0±11,0
Плотность посадки, экз/га	1 333

4. Характеристика пруда

Рыбоводная зона	III
Площадь пруда, га	1,5
Глубина пруда, м	1,5

5. Результаты контрольного облова

Период от посадки рыбы до облова, сут	142
Длительность выращивания, сут	120
Общая биомасса, кг	1526,3
Рыбопродуктивность, т/га	1,0
Выход сома из пруда, %	72

4. Заключение

Контрольный облов проведен в полном соответствии с действующими методическими рекомендациями. Полученные показатели свидетельствуют об эффективности технологии выращивания африканского клариевого сома в условиях III рыболовной зоны в мелководном нагульном пруду площадью 1,5 га.

Рыбопродуктивность 1,0 т/га при сохранности 72% соответствует ожидаемым значениям для данного вида при заданных условиях выращивания.

5. Подписи сторон

Составил:

Плигунов Николай
Васильевич

«29» сентября 2024 г.



Принял (представитель ФГБОУ ВО МГУТУ
им. К.Г. Разумовского (ЦКУ):
Климов Виктор
Александрович

«29» сентября 2024 г.



Приложение Д. 25 ДЭГ, обладающие повышенным уровнем экспрессии у *Clarias gariepinus* при пониженных термальных режимах содержания (15°C)

Идентификатор гена, NCBI	Символ гена	Описание гена	Контроль			Опыт			Log ₂ FC	FDR
			1	2	3	1	2	3		
128517021	CLGN	Кальмегин							2.52	0.04
128517080	RNF14	Убиквитинтрансфераза E3 типа RBR							1.75	0.03
128531323	PSMA1	Протеасома 20S субъединица альфа 1							2.8	0.007
128517976	PSMA4	Протеасома 20S субъединица альфа 4							2.37	0.02
128531746	PSMB5	Протеасома 20S субъединица бета 5							2.74	0.001
128529969	FAF1	Fas (TNFRSF6) ассоциированный фактор 1							2.33	0.03
128512264	FBXL22	F-box и богатый лейцином повторный белок 22							2.73	0.04
128541334	UBE2D1 B	Убиквитин-конъюгирующий фермент E2D 1b							4.48	0.02
128512497	ACACA	Ацетил-КоА-карбоксилаза альфа							2.97	0.001
128541007	FASN	Жирнокислотная синтаза							5.02	<0.0001
128529381	SCDB	Стеароил-КоА-десатураза b							5.75	<0.0001
128542943	PIP5K1C A	Фосфатидилинозитол-4-фосфат 5-киназа, тип I, гамма a							3.11	0.01
128530084	MMP9	Матриксная металлопептидаза 9							6.49	<0.0001
128527506	TXN	Тиоредоксин b							2.57	0.02
128533632	HSPA13	Семейство белков теплового шока 70, член 13							3.26	0.01
128528652	NFKB2	Ядерный фактор гена полипептида каппа-лайт-энхансера в В-клетках 2 (p49/p100)							2.52	0.004
128519789	IL11A	Интерлейкин 11a							4.51	0.03
128528953	TNFAIP 3	Фактор некроза опухоли, альфа-индуцированный белок 3							3.32	0.02
128533485	HMGB1 B	Амфотерин 1b							3.64	0.001
128507833	HMGB3 B	Высокомобильный групповой ген 3b							3.04	0.008
128508753	CXCL8 A	Хемокин (C-X-C motif) лиганд 8a							5.41	0.03
128512907	IMPA1	Инозитолмонофосфатаза 1							1.78	0.04
128515081	TTR	Транстиретин (преальбумин, амилоидоз I типа)							6.47	0.003
128511335	MAPK1 4B	Митоген-активируемая протеинкиназа 14b							2.81	0.007
128518325	MEP1B B	Субъединица бета b меприна A							4.97	0.04

Встроенная тепловая карта (сине-красный градиент) показывает относительные профили экспрессии генов (логарифмическое отношение уровня экспрессии в текущем образце к среднему уровню по всем образцам). Синий — уровень экспрессии ниже среднего, красный — выше среднего. Log₂FC — средний двоичный логарифм отношения уровня экспрессии между обработанными и контрольными организмами. Значение FDR — скорректированное p-значение для множественного тестирования.

Приложение Е. 24 ДЭГ, обладающие пониженным уровнем экспрессии у *Clarias gariepinus* при пониженных термальных режимах содержания (15°C)

Идентификатор гена, NCBI	Символ гена	Наименование	Контроль			Опыт			Log ₂ FC	FDR
			1	2	3	1	2	3		
128524224	LSS	Ланостеролсинтаза (2,3-оксидосквален-ланостеролциклаза)							-6,01	<0.0001
128510965	RDH5	Ретинолдегидрогеназа 5 (11-cis/9-cis)							-3,62	0.005
128526949	HSD17B7	Гидроксистероид (17-бета) дегидрогеназа 7							-6,16	<0.0001
128510985	CISHB	Цитокин-индуцируемый SH2-содержащий белок b							-2,92	0.0008
128542612	DHCR7	7-дегидрохолестерин-редуктаза							-2,57	0.04
128513184	PMVK	Фосфомевалонаткиназа							-2,17	0.01
128508407	MSMO1	Метилстеролмонооксигеназа 1							-5,82	<0.0001
128527177	CISH	Цитокин-индуцируемый SH2-содержащий белок a							-2,94	0.01
128505753	TM7SF2	Трансмембранный 7 суперсемейство член 2							-5,11	<0.0001
128512132	PISD	Фосфатидилсериндекарбоксилаза							-3.58	0.01
128514271	SQLEA	Скваленэпоксидаза a							-11.36	0.0001
128529784	ACAA2	Ацетил-КоА ацилтрансфераза 2							-4.79	<0.0001
128530838	DUSP2	Фосфатаза 2 двойной специфичности							-2.48	0.007
128540839	EGR2B	Ранняя реакция роста 2b							-2.24	0.02
128531961	EGR1	Ранняя реакция роста 1							-2.27	0.02
128507077	ADAMTS1	Металлопептидаза ADAM с мотивом тромбоспондина типа 1, 1							-2.65	0.008
128511001	FDFT1	Фарнезил-дифосфат фарнезилтрансфераза 1							-3.14	0.0003
128508941	HMGCRA	3-гидрокси-3-метилглутарил-КоА-редуктаза a							-3.61	0.002
128509172	MVK	Мевалонаткиназа							-2.93	0.009
128507265	SC5D	Стерол-C5-десатураза							-2.32	0.02
128542527	CPT1AB	Карнитин пальмитоилтрансфераза 1Ab (печень)							-2.3	0.02
128514747	DHCR24	24-дегидрохолестерин-редуктаза							-2.64	0.006
128510511	NR4A1	Ядерный рецептор подсемейства 4, группа A, член 1							-3.83	0.001
128534333	PNPLA3	Лататин-подобный домен фосфолипазы, содержащий 3							-2.37	0.0002

Приложение Ж. УчМП «Методы селекционно-генетических исследований объектов товарного рыбоводства (на примере клариевого сома)»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ К.Г. РАЗУМОВСКОГО
(ПЕРВЫЙ КАЗАЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

«Евразийский центр гидроэкологии и органического
рыбоводства»
(НЭЦ «ЗЕЛЕННЫЕ АКВАТЕХНОЛОГИИ»)

**МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИОННО-
ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОБЪЕКТОВ ТОВАРНОГО
РЫБОВОДСТВА**
(на примере клариевого сома)

УДК 639.3.05 Общие вопросы рыбоводства
ББК 28.64 Генетика животных; 47.2 П728 Рыбоводство

Методы селекционно-генетических исследований объектов товарного рыбоводства (на примере клариевого сома): учебно-методологическое пособие. Климук А.А., Кочетков Н.И., Пономарев А.К., Бекетов С.В. / Под общ. ред. А.В. Горбунова - М., Курск: ИП Бескровный А.А., 2025. -213 с.

Рецензенты:

Е.А. Мельченков - д.б.н., ст. н. с., заведующий лабораторией осетроводства и акклиматизации Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»);

К.И. Афанасьев - к.б.н., с.н.с. лаборатории генетических проблем идентификации Института общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН (ИОГен РАН)

Авторы: Климук А.А., Кочетков Н.И., Пономарев А.К., Бекетов С.В.

ISBN - 978-5-6052878-7-2

Учебно-методологическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании методической комиссии факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Протокол №9 от «18» января 2025 г).

© Климук А.А., Кочетков Н.И.,
Пономарев А.К., Бекетов С.В., 2025
© ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г.
Разумовского (ПКУ)», 2025