

Климук Анастасия Алексеевна

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

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2025 г.

Работа выполнена на кафедре ихтиологии и рыбоводства ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

**Научный
руководитель:**

Никифоров-Никишин Алексей Львович,
доктор биологических наук, профессор, и.о. декана факультета Биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

**Официальные
оппоненты:**

Пищенко Елена Витальевна,
доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии, биоресурсов и аквакультуры Института экологической и пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Поддубная Ирина Васильевна,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры «Кормление, зоогигиена и аквакультура» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет»

Защита состоится 17 декабря 2025 г. в 14.00 ч. на заседании диссертационного совета 35.2.030.10 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел.: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте университета: www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Заикина
Анастасия Сергеевна

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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 растительноядными 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°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°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. Рыбохозяйственное освоение африканского сома *C. gariepinus* 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 рыбоходных 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 рыбоходную 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 рыболовные зоны РФ).

Для достижения указанной цели поставлены 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 молодежи 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 молодежи *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 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 перспективные 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 1 в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, Минобрнауки России, 3 – в изданиях, входящих в МБД, 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.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на ресурсной базе 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)».

Объектами исследования являлись самки и самцы африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) пород михайловская (пат. №9064) и таманская (пат. №10639), а также их потомство первого и второго поколения (♀ михайловская × ♂ таманская).

Оценку производителей осуществляли по рыбоводно-биологическим и морфометрическим показателям. Для этого формировали группы самок и самцов породы михайловская (ср. масса 1520 ± 370 г, длина $44,5 \pm 5,7$ см, $n=5$) (группа «Михайловские»); таманская (ср. масса 3950 ± 302 г, длина $57,3 \pm 4,3$ см, $n=5$) (группа «Таманские») и проводили скрещивание (прямое и обратное для анализа воспроизводственных качеств линий). Производителей содержали в рыбоводных емкостях УЗВ объемом 3000 л при средних плотностях посадки (30 кг/м^3) с проведением ежедневного контроля гидрохимических параметров (t° , O_2 , pH, NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4). Кормление рыб осуществляли два раза в день, специализированными кормами для сомовых рыб (экструдированный продукционный корм для сомов 6 мм). Анализ качества икры и спермы сомов проводили согласно общепринятым методам (Катасонов В.Я., Гомельский Б.И., 1991). В качестве стимулятора полового созревания самок использовали гипофиз африканских сомов (дозировка 0,4-0,6 мг/кг). Получение половых продуктов от производителей проводили по методу (Власов В.А., 2012), оплодотворение икры сухим способом. Оплодотворенную икру инкубировали в рыбоводном лотке с контролем гидрохимических параметров, температуры, процента оплодотворения и выживаемости. Подращивание личинок проводили в проточных лотках. Сортировку мальков осуществляли на 30, 60 и 90 сут. Кормление пост-личинок проводили стартовым кормом (науплии *Artemia salina*, Коппенс Старт Премимум 0,5-0,8 мм). Выращивание молоди до рыбопосадочного материала (50-90 и 150-200 г) производили в лабораторных модулях УЗВ в рыбоводных баках емкостью 1000 л.

Рыбоводно-биологические параметры измеряли по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Castell, Tiews, 1979; Купинский, 2007). Рассчитывали среднесуточную, абсолютную, относительную и удельную

скорость роста, коэффициент упитанности по Фультону и кормовой коэффициент.

При проведении морфометрического анализа было измерено 20 экстерьерных параметров (Legendre et al., 1992): промысловая длина (SL); антепектральное расстояние (PPD); длина головы (HL); антедорсальное расстояние (PDD); антевентральное расстояние (PVD); антеанальное расстояние (PAD); длина основания спинного плавника (DFL); длина грудного плавника (PFL); длина основания анального плавника (AFL); высота тела (BDA); высота основания хвоста CPD; обхват тела (O); расстояние между спинным и хвостовым плавниками (DDCF); длина рыла (SNL); межглазничное расстояние (ID); диаметр глаза (ED); ширина головы (HW); расстояние до затылочной впадины (DSO); длина затылочной впадины (OFL); ширина затылочной впадины (OFW). Продукционные характеристики оценивали по индексам: прогонистость (SL/BDA); высокоспинность (DFL/SL); компактность (O/SL); большеголовость (HL/SL).

Выход съедобных и несъедобных частей определяли по ГОСТ 7631-2008 и ГОСТ 7631-85. Определение массовой доли влаги проводили согласно ГОСТ 333192015, белка – ГОСТ 32008-2012, жира – ГОСТ 23042-2015 общей золы – ГОСТ 31727-2012.

При оценке влияния температуры воды на физиолого-биологические процессы у молоди африканского сома разных размерно-массовых групп и поколений (50-95 г и 150-200 г; 2023 и 2024 гг) была смоделирована модель постепенного понижения температуры в резервуарах УЗВ: 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; 3. Содержание особей при 17-15°C в течение 15 сут. Динамическое изменение температур в резервуарах УЗВ осуществляли с использованием охлаждающего элемента (HAILEA HC-2200BH, Китай). Эксперимент включал трехкратную повторность, длительность опыта составила 39 сут.

Корректирующую оценку проводили по критериям: положительные локомоторная и пищевая активность, отсутствие дефектов развития, нормальная скорость роста и выживаемость не менее 80%. Для анализа гематологических, биохимических, гистологических и молекулярно-генетических показателей в условиях пониженных температур в экспериментальные группы отбирали по 50 особей.

Анализ сыворотки крови проводили в каждом варианте температуры (25, 22, 20, 17 и 15°C) в двух группах рыб, случайным образом отбирая по 6 экземпляров из каждой группы. Взятие крови (1-1,2 мл) производили из хвостовой вены у анестезированных гвоздичным маслом рыб в концентрации 0,05%.

Гематологический анализ включал в себя подсчет форменных элементов крови и выведение лейкоцитарной формулы. Мазки крови изготавливали по стандартной методике (Bolognesi, Hayashi, 2011) с окрашиванием азур-эозином по Романовскому-Гимзе (Саркисов, Перова, 1996). Для определения

лейкоцитарной формулы на препаратах подсчитывали не менее 200 клеток. Определение форменных элементов крови сомов было проведено согласно атласу Ивановой (1983). После изготовления, препараты просматривали под световым микроскопом Olympus BX53 («Olympus Corporation», Япония).

Биохимический анализ включал в себя определение общего белка, альбумина, глобулина, щелочной фосфатазы (ЩФ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), мочевины, креатинина, глюкозы и кортизола. АСТ, АЛТ, ЛДГ, креатинин и мочевину в сыворотке определяли при помощи биохимического анализатора CS-T240 (Китай) с использованием готовых реактивов (наборов). Уровень глюкозы в крови измеряли с использованием ферментных наборов Bio-Merieux (Франция). Общий белок (Doumas 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.

Для получения гистологических срезов из контрольной и опытной групп отбирали по 6 особей. Рыбу седатировали в растворе MS-222 (10 мг/л). Производили отбор образцов кожи, кишечника и печени размером 5×5×10 мм. Ткани фиксировали в 4% растворе нейтрального формалина в течение 24 ч. Образцы тканей обезжизивали в серии градуированных спиртов и заливали в парафин. Изготовление срезов проводили на микротоме Minux S700A (4 мкм), которые затем окрашивали гематоксилином и эозином (H&E) (K.S. Suvana et al., 2018). Для анализа полученных микрофотографий использовали программу ImageJ (National Institutes of Health, USA).

Для транскриптомного анализа РНК ткани печени отбирали у случайно отловленных и не имеющих видимых повреждений рыб по 3 экземпляра из резервуаров с контрольной (25°C) и пониженной (15°C) температурами. Выделение, очистка, секвенирование и картирование проведены на базе лабораторий молекулярной генетики Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН. Данные считывания РНК-секвенирования были помещены в архив считывания последовательностей NCBI под номером доступа PRJNA1279200. 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 (ДЭГ) был выполнен 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, как широко применяемый в биомедицине модельный объект.

Для экспериментального зарыбления были выбраны рыбоводные пруды в

прудовых хозяйствах Белгородской (в 2023 г) и Курской (в 2024 г) областях (табл. 1).



Рисунок 1 – Схема исследований

Схема исследований акклимации и акклиматизации молоди африканского сома в условиях пониженных температур выращивания представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристика рыбопосадочного материала клариевого сома и прудов выращивания в период 2023-2024 г.

Характеристика	Регион зарыбления	
	Белгородская область	Курская область
Рыбоводная зона	IV	III
Посадочный материал	Гибриды F ₁	Гибриды F ₂
Количество особей, экз	1 000	2 000
Плотность посадки, экз/га	2 500	1 333
Характеристика пруда	площадь 0,4 га ср. глубина 1,2 м	площадь 1,5 га, ср. глубина 1,5 м
Индивидуальная масса рыб, г	102,0±12,0	108,0±11,0
Общая биомасса, кг	100,0	220,0

Все экспериментальные данные представлены в виде средних ± стандартное отклонение. Статистическая достоверность определялась с использованием непараметрических и параметрических тестов. Значение $p < 0,05$ было принято, как статистически достоверное. Для выявления зависимости между физиологическими маркерами и температурой среды применяли линейно-регрессионный анализ. Обработка статистических данных производилась в программе GraphPad Prism и в среде R.

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Формирование групп производителей и получение потомства первого и второго поколений

3.1.1. Морфометрический анализ групп производителей пород 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. 2).

Таблица 2 – 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	$3768,0 \pm 1707,3$	$5,98 \pm 0,45$	$0,38 \pm 0,03$

3.1.2. Анализ воспроизводительных качеств линий.

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. Рабочая плодовитость михайловских самок находилась на уровне 186,0 тыс. шт. икринок, при средней массе икры от самки 310 г (табл. 3).

Таблица 3 – Характеристика воспроизводительных качеств самок (михайловская порода)

Показатели оценки	Михайловские (n=5)	
	$M \pm SD$	CV, %
Масса икринок, мг	$1,52 \pm 0,08$	5,3
Масса предличинок, мг	$1,16 \pm 0,02$	1,7
Кол-во личинок с дефектами развития, %	$10,1 \pm 0,05$	0,5
Масса 9-суточных мальков, г	$0,04 \pm 0,01$	25
Средняя масса икры от самки, г	$310,0 \pm 114,0$	36,8
Процент выклева, %	$70,5 \pm 12,2$	17,3
Рабочая плодовитость, тыс шт	$186,0 \pm 68,4$	36,8

Анализ половых продуктов самцов проводили, используя стандартные показатели оценки (табл. 4).

Анализировали объем эякулята, составляющего в среднем 23,1 мл. Активность спермы африканского сома среднего уровня, при добавлении воды сохраняет двигательную активность не менее 48,4 с.

Таблица 4 – Качество половых продуктов самцов (таманская порода)

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

Концентрация спермиев составляла 22,4 млн/мм. Согласно визуальной оценке, сперма африканского сома породы таманская высокого качества (кол-во живых спермиев составляет не менее 95%).

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.

3.1.3. Получение потомства второго поколения. Чтобы получить потомство второго поколения (F_2 в 2024 г), отбирали самок и самцов первого поколения, выращенных за короткий вегетационный период в прудовом хозяйстве Белгородской области. Оценку производителей для нереста осуществляли по выбранным ранее показателям: индексы прогонистости (I/H), компактности (I/O) и воспроизводственным показателям.

На основании рыбоводно-биологических и морфометрических показателей прогонистости (6,4 и 6,25) и компактности (0,37 и 0,36) у гибридов клариевого сома F_1 проведен корректирующий отбор производителей для последующего разведения «в себе» ($F_1 \times F_1$), что позволило закрепить адаптивные признаки к пониженной температуре в поколении F_2 .

Анализ воспроизводительных качеств гибридных линий представлены в таблицах 5 и 6. По результатам оценки половых продуктов самок гибридов F_1 (табл. 5), масса икринок находилась на уровне 1,53 мг, масса предличинок на 48 ч инкубации составляла не менее 1,18 мг. Количество личинок с дефектами

Таблица 5 – Характеристика воспроизводительных качеств самок гибридов первого поколения

Показатели оценки	Самки F_1 (n=5)	
	<i>M±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

развития возросло и составляло не менее 18%. Личинки на 9 сутки культивации демонстрировали широкую вариабельность массы ($0,06 \pm 0,03$ г). Процент выклева личинок 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 6.

Таблица 6 – Качество половых продуктов самцов (гибриды первого поколения)

Показатели оценки	Самцы F ₁ (n=20)	
	M±SD	CV, %
Объем эякулята, мл	15,4±6,1	39,6
Активность спермиев, с	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 (кол-во живых спермиев составляла не менее 95%).

3.1.4. Рыбоводно-биологические показатели гибридной молодежи. Сортировка мальков по размерно-массовым показателям и перевод в рыбоводные емкости осуществлялась на 30, 60 и 90 сутки выращивания. В таблице 7 представлены результаты измерений основных рыбоводных показателей молодежи на 90 сут из расчета последнего перевода молодежи на 60 сут.

По результатам выращивания, индивидуальная масса и длина молодежи 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. Среднесуточная скорость роста была максимальна у гибридов F₁ (2,6 г против 2,2 и 2,1 у родительских линий).

Таблица 7 – Рыбоводно-биологические показатели молодежи африканского сома гибридных и родительских групп на 90 сут. выращивания

Показатель	Михайловская	Таманская	Гибриды F ₁ (2023)	Гибриды F ₂ (2024)
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, ед	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

Показатель упитанности молодежи находился на уровне 1,8. Было выявлено отличие выживаемости гибридов F₁ по сравнению с родительскими линиями на 4,2% (в 1,05 раз).

3.2. Лабораторный опыт: Акклимация молодежи к пониженным температурам

3.2.1. Гематологический анализ крови. В диапазоне температур 22-15°C были выявлены достоверные изменения содержания в крови рыб лимфоцитов, лейкоцитов и тромбоцитов (табл. 8).

Таблица 8 – Гематологические показатели африканских сомов исследуемых групп

Группа	Параметр, отн.ед, %	Температура водной среды, °C				
		25 (контр.) (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)
Гибриды F ₁ 50-95 г (2023)	Моноциты	3,28±1,73	1,57±0,87	1,06±0,44	0,44±0,17	0,76±0,25
	Нейтрофилы	1,71±0,58	0,67±0,31	0,51±0,26	0,19±0,1	0,24±0,12
	Тромбоциты	0,11±0,2	2,16±0,69	1,97±0,19	2,68±0,33	3,87±2,02
	Всего лейкоцитов	2,58±0,41	3,34±0,16	4,33±1,22	7,09±1,05	8,38±2,75
	Всего лимфоцитов	2,0±0,8	3,0±0,1	4,1±1,2	6,9±1,0	8,0±2,6
Гибриды F ₁ 150-200 г (2023)	Всего лейкоцитов	1,13±0,16	3,96±1,42	3,8±0,52	4,3±1,22	2,80±0,63
	Всего лимфоцитов	1,02±0,19	3,09±1,18	3,49±0,41	4,06±1,18	2,49±0,68
Гибриды F ₂ 50-95 г (2024)	Сегментоядерные нейтрофилы	0,25±0,13	0,71±0,23	1,3±0,86	0,51±0,28	1,8±0,65
	Всего лейкоцитов	3,23±0,96	3,62±0,47	4,16±1,32	6,62±1,0	6,23±3,92
Гибриды F ₂ 150-200 г (2024)	Тромбоциты	0,2±0,02	1,24±0,65	2,2±0,29	2,05±0,33	1,34±0,42

Примечание: статистическая обработка выполнена по t-критерию Стьюдента ($p < 0,05$), жирным шрифтом выделены значения, которые достоверно различаются в группах от контрольных данных

У молоди F₁ (50-95 г) наблюдалось выраженное увеличение встречаемости тромбоцитов, общего числа лейкоцитов и лимфоцитов при 15°C в 3,9, 3,2 и 4 раза ($p < 0,05$), соответственно. Общее число лимфоцитов и лейкоцитов также было увеличено у F₁ (150-200 г) в 3,9 и 4,1 раза при 17°C, что говорит об адаптивной реакции молоди с большей массой. Уровни лейкоцитов и лимфоцитов возрастали «дозозависимо», коэффициент детерминации регрессионной модели (R^2) для данных параметров составил (0,7433 и 0,7691, соответственно, при $p < 0,05$). Лейкоформула крови гибридов второго поколения (50-95 г) показала существенное увеличение сегментоядерных нейтрофилов в 9 раз по отношению к контролю при 15°C и общего числа лейкоцитов в 2 раза при 17°C ($p < 0,05$). У гибридов F₂ (150-200 г) значительно были повышены только тромбоциты (в 7,3 раза при 20°C).

Встречаемость других форменных элементов в крови не претерпевала изменений на протяжении опыта по акклимации (в т. ч. малые и крупные лимфоциты, палочкоядерные нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, миелоциты, метамиелоциты и эритроциты). Таким образом, прослеживается тенденция снижения чувствительности сомов с большей массой и гибридных групп F₂ к пониженной температуре содержания.

3.2.2. Биохимический анализ сыворотки крови. Пониженная температура (15°C) статистически значимо оказывала влияние на уровни кортизола во всех опытных группах, что способствовало увеличению этого показателя в 8,2 и 5,6 раз у гибридов F₁; в 6,9 и 5 раз у гибридов F₂ массой 50-95 г и 150-200 г, соответственно (табл. 9). Уровень кортизола демонстрировал зависимость от температур, что подтверждается высокими коэффициентами детерминации ($R^2 = 0,7850$ и $0,8270$ у гибридов F₁; $R^2 = 0,8483$ и $0,8876$ у F₂).

Кроме того, при 15°C также достоверно был увеличен показатель ЛДГ у молоди F₁ (50-95 г) в 4 раза; у F₂ (50-95 г) в 2,9 раз и F₂ (150-200 г) в 1,59 раз (p<0,05). При 15°C достоверно снижались концентрации общего белка на 39% у F₁ (50-95 г) и на 29% F₁ (150-200 г), глобулинов на 52,1% и 39,3%, соответственно. В группах F₂ также было обнаружено понижение концентрации общего белка на 35% у молоди 50-95 г.

Таблица 9 – Биохимические показатели сыворотки крови африканских сомов первого и второго поколения, значимо реагирующие на понижение температуры среды

Группа	Параметр	Температура водной среды, °C					P value
		25 (контроль) (n=6)	22 (n=6)	20 (n=6)	17 (n=6)	15 (n=6)	
Гибриды F ₁ 50-95 г (2023)	Щелочная фосфатаза (ЩФ), 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
	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
	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
	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
	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
Гибриды F ₁ 150-200 г (2023)	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
	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
	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
Гибриды F ₂ 50-95 г (2024)	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
	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
	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
	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
Гибриды F ₂ 150-200 г (2024)	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
	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
	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
	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

Примечание: статистическая обработка выполнена по тесту Краскелла-Уоллиса (при p<0,05), надстрочные буквы a,b,c отображают статистическую разность между группами согласно результатам пост-хок теста Данна; ЛДГ – лактатдегидрогеназа.

Уровень глобулинов был существенно снижен в обеих размерно-массовых группах гибридов F₂: на 46,6% и 37,8%. Коэффициент детерминации составил 0,7061 и 0,7316 для гибридов F₁, для гибридов F₂ 0,6157 и 0,6602. Значимое

увеличение уровня ЩФ в 3 раза было зафиксировано только в группе F₁ (50-95 г). Концентрация глюкозы в сыворотке крови молоди F₁ варьировала – при 20°C значительно снижалась относительно 25°C – в 6,7 раз ($p < 0,05$), при 17°C находилась ниже контроля в 3,7 раз ($p < 0,05$). 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. Повышение уровня кортизола также стимулирует пути глюконеогенеза и гликогенолиза, что приводит к увеличению уровня глюкозы для удовлетворения потребности в энергии, вызванной стрессом. Содержание глюкозы у молоди F₁ массой 150-200 г при 15°C было снижено в 2,14 раз ($p < 0,05$). Концентрация креатинина характеризовалась разнонаправленной динамикой – в группе F₁ (50-95 г) была значительно снижена при 22°C в 1,9 раз; в группе F₂ (150-200 г) существенно увеличена при 15°C в 3,6 раз ($p < 0,05$). Другие биохимические показатели, такие как маркеры функции печени (АСТ и АЛТ), мочевины и альбумина не подвергались изменению у рыб массой 50-95 г; АСТ, АЛТ, мочевины, альбумина и ЩФ не демонстрировали существенных изменений у гибридов массой 150-200 г.

Высокая степень акклимации африканского клариевого сома к холодноводным условиям (20-17°C) может быть достигнута путем использования щадящих режимов понижения температуры ($< 2^\circ\text{C}/\text{сут}$) с удлиненными временными промежутками адаптации. Быстрое понижение температуры приводит к снижению жизнестойкости, но рыбы, подвергнутые длительной акклимации, как правило, оказываются несколько лучше приспособленными к холодным температурам.

3.2.3. Гистология печени, кишечника и кожных покровов. По результатам гистологического исследования существенных изменений в структуре кожных покровов клариевых сомов при температуре $> 20^\circ\text{C}$ выявлено не было ни у одной из размерно-массовых гибридных групп (рис. 2).

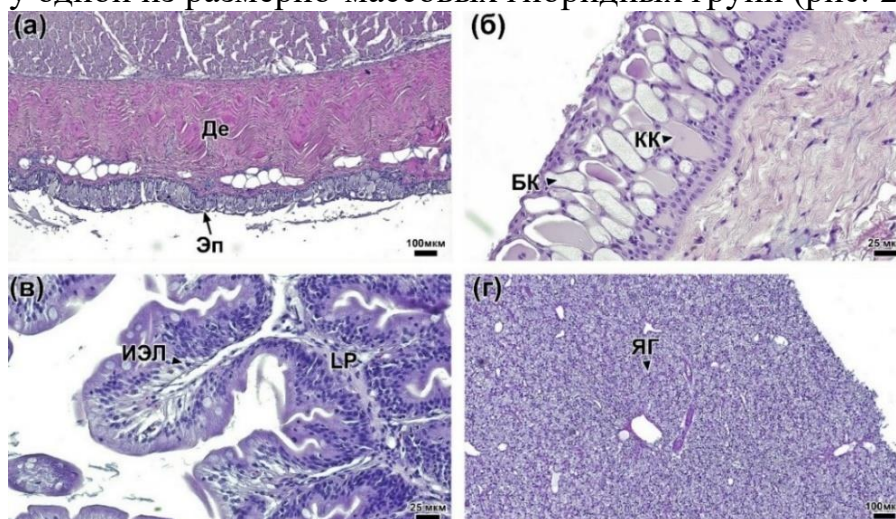


Рисунок 2 – Гистологические препараты тканей кожи (а, б), кишечника (в) и печени (г) клариевого сома после гипотермического стресса групп F₁ 90-95 г (а, в) и F₂ 150-200 г (б, г) Сокращения: Эп – эпителий, Де – дерма, БК – бокаловидная клетка, КК – колбовидная клетка, ИЭЛ – интраэпителиальный лимфоцит, LP – lamina propria, ЯГ – ядро гепатоцита

Понижение температуры до 17°C приводило к увеличению числа бокаловидных и колбовидных клеток в эпидермисе (рис. 2 а, б). В группах 50-95 F₁ и F₂ в кишечнике наблюдалось уменьшение высоты призматического эпителия и увеличение числа интерэпителиальных лимфоцитов (рис. 2 в). Снижение температуры до 15°C вызывало нарушения в структуре и организации печени, выраженное в вакуолизации цитоплазмы гепатоцитов (рис. 2 г), что было выявлено у обеих размерно-массовых гибридных групп клариевых сомов.

Таким образом, крупные особи *C. gariepinus* обладают большей приспособляемостью и способны лучше акклиматизироваться к пониженным температурам выращивания. По результатам данной работы, рекомендуется осуществлять зарыбление рыбоводных прудов молодью африканских сомов индивидуальной массой от 50 до 95 г при температурах воды >22,0°C (F₁) и >21,0°C (F₂), массой от 150-200 г при t>20,0°C (F₁) и >19,0°C (F₂).

3.2.4. Транскриптомный анализ тканей печени. Всего было создано 6 библиотек РНК-секвенирования печени *C. gariepinus* (3 контрольных при 25°C и 3 опытных при 15°C). В ходе анализа было выявлено 20899 генов в обеих экспериментальных группах, из которых идентифицировано 377 аннотированных дифференциально экспрессируемых генов (ДЭГ), обладающих, как минимум, двукратным изменением уровня экспрессии. Среди них были отмечены 287 генов с повышенной экспрессией ($\log_2FC \geq 1$) и 90 с пониженной ($\log_2FC \leq -1$).

В целом было выявлено относительно слабое обогащение разных категорий GO, что может свидетельствовать о плейотропном воздействии пониженной температуры на организм рыб. Основными обогащенными биологическими процессами (GO) и путями (KEGG) (рис. 3) в печени являлись убиквитин-протеасомная реакция катаболизма белка, биосинтез липидов и стеролов, сигнальные пути MAPK, TGF-бета и передачи через Toll-подобный рецептор, что говорит о метаболической перестройке в печени и индукции стрессового ответа.

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.

Также были обнаружены маркерные гены холодоустойчивости – члены семейства высокомолекулярных групповых генов (*HMGB1B*, *HMGB3B*) и ген *ter1bb*, являющийся ортологом *MEP1B*, обладающие повышенной экспрессией в тканях печени. Активация генов, кодирующих группу белков высокой подвижности и работы протеасомы, подтверждает биохимические процессы адаптации и акклимации организма рыб.

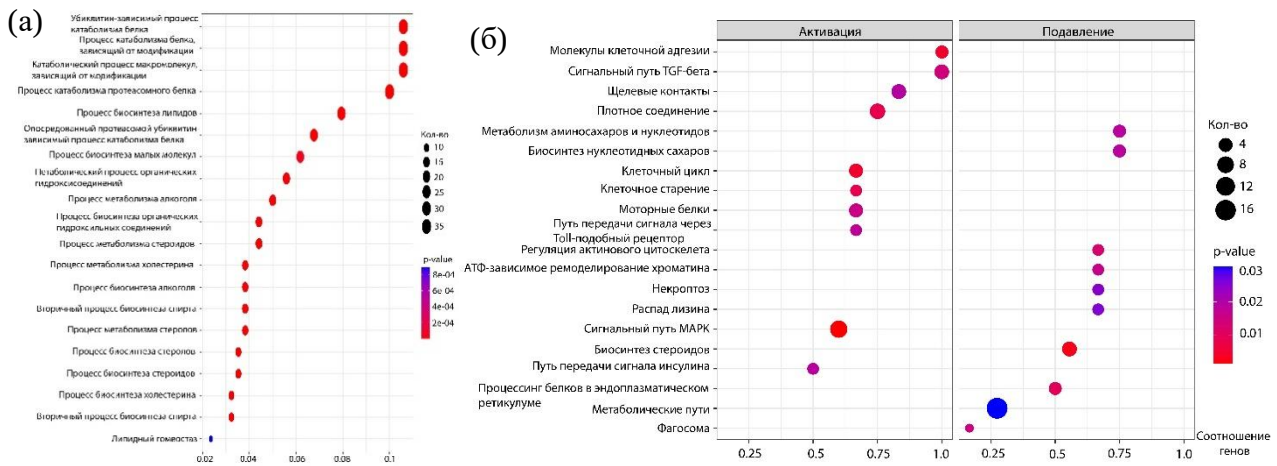


Рисунок 3 – Результаты GO и KEGG анализов: *a* – 20 обогащенных биологических процессов; *б* – 10 активных и 10 подавленных путей ДЭГ в печени рыб после содержания при пониженных температурах

Таким образом, результаты анализа обогащения GO и KEGG указывают на то, что в установлении адаптационной устойчивости к холоду в печени молоди африканского сома участвуют различные биохимические процессы, включая метаболическую перестройку (синтез длинноцепочечных ЖК), активацию иммунной системы (путь передачи сигнала Toll-подобного рецептора, повышенную экспрессию интерлейкинов, хемокинов и фактора некроза опухоли), MAPK-сигналикации и 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. Морфометрический анализ. Результаты сравнительного изучения морфометрических характеристик, выраженных в процентах к длине тела и головы рыб представлены в табл. 10.

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 F₂. На основе промеров, экземпляры F₁ можно охарактеризовать как рыб с более длинным широким телом и вытянутой головой, при этом демонстрирующих значимые отличия в длине и ширине затылочной впадины. Гибриды второго поколения 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. 4 *a*). При этом гибридные особи F₂ образовали однородную группу, занимающую нижнюю часть левой и правой сторон графика, в которой гибриды оказались схожими и достаточно консолидированными, но особи F₁ демонстрируют существенный разброс и пересекаются с гибридами F₂.

Подобная вариативность у гибридов F_1 может объясняться высокой степенью гетерозиса.

Таблица 10 – 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 ^a _b	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±13,41 ^{ac}	80,6±7,41 ^c	0.0002

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

На графике корреляций переменных (рис. 4 б) 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.

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. 11).

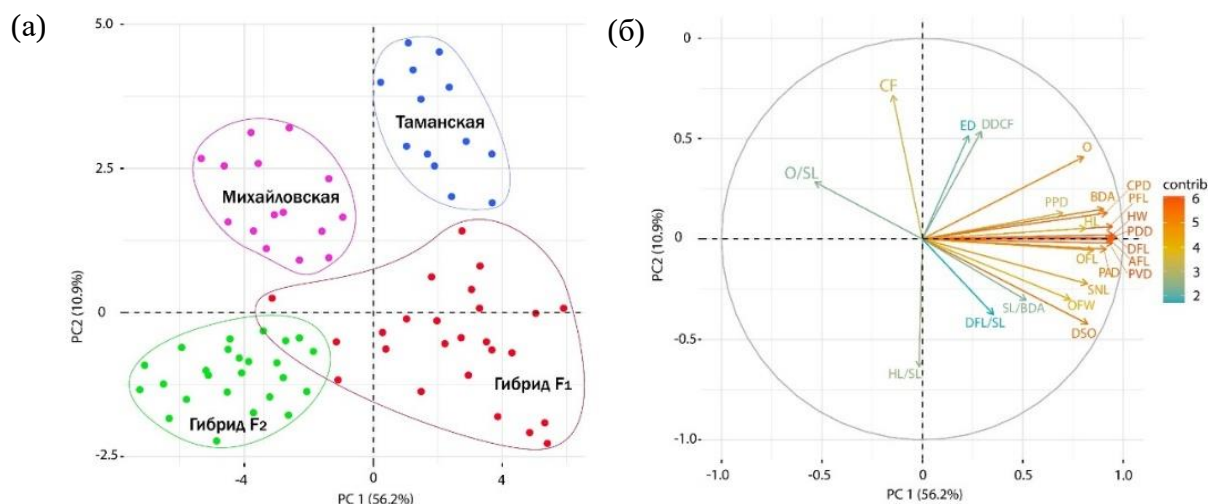


Рисунок 4 – а. График проекций наблюдений анализа главных компонент морфометрических промеров и индексов родительских и гибридных групп первого и второго поколений *Clarias gariepinus*; б. График корреляций переменных анализа главных компонент экстерьерных показателей и индексов изучаемых групп

Таблица 11 – 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
Кэф. 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; надстрочные буквы a,b,c отображают статистическое различие между группами согласно результатам пост-хок теста Данна.

Таким образом, эффективность оценки рыб по морфометрическим показателям продуктивности прослеживается по показателям индексов: гибриды первого поколения характеризуются меньшей головой и более высоким и коротким телом, повышенным выходом товарной продукции на этапе первичной переработки.

3.3.2. Рыбопродуктивность водоемов зарыбления 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. 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). В опытном рыбоводном пруду с середины июня по октябрь температура

воды колебалась от 20 до 27°C. Количество выловленных особей гибрида (михайловская ♀×♂ таманская) клариевого сома составило 790 особей, общей биомассой 728,8 кг, что составило 79 % выхода сома из пруда (табл. 12). Индивидуальная масса варьировалась от 768 до 1600 г. По результатам облова, рыбопродуктивность водоема составила 1,8 т/га за вегетационный период длительностью 90 сут.

Научно-хозяйственный эксперимент в 2024 г. В качестве водоема для зарыбления было выбрано рыбоводное хозяйство (ЗАО «Голубая Нива»). Для посадки в пруд (площадь 1,5 га, ср. глубина 1,5 м) было отобрано 2000 особей ср. массой 108,0±11,0 г (общ. биомасса составила 220 кг). В опытном рыбоводном пруду с середины июня по октябрь температура воды колебалась от 19 до 28°C. Количество выловленных экземпляров клариевого сома F₂ составило 1440 особей, общей биомассой 1526,3 кг, что составило 72% выхода сома из пруда (табл. 12).

Таблица 12 – Результаты выращивания акклиматизированной молоди за вегетационные периоды в 2023 и 2024 гг.

Регион	Рыб. зона	Диапазон t, °C	Длительность 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

Индивидуальная масса рыб варьировалась от 825 до 1750 г. По результатам облова, рыбопродуктивность водоема составила 1,0 т/га за вегетационный период длительностью 120 сут.

3.3.3. Технологическая переработка. Согласно полученным данным, конечная масса самок и самцов в опытных группах за 10 мес. выращивания составила не менее 1700 г, но достоверных различий между опытными группами не наблюдалось. Масса рыб после потрошения также не имела существенных отличий между опытными группами и составила 1100 г (63%). Масса голов в группе F₁ имела существенные отличия в среднем в 1,2 раз (p<0,05) от F₂. Процентный выход тушки рыб у гибридного потомства составил не менее 40%. При этом самцы F₂ имели меньшую массу тушки (выход % – 40,3). Конечный выход филе у гибридных самок и самцов первого поколения не имел существенных различий (27,0 и 29,0% соответственно). То же наблюдалось и в конечном выходе филе у гибридов F₂. При этом существенное различие наблюдалось в процентном выходе филе у гибридных самок F₂ – в 1,15 раз выше (p<0,05) по сравнению с самцами F₁.

3.3.4. Химический состав филе. Согласно анализу химического состава филе гибридных групп африканских сомов, выращенных в прудовых хозяйствах, уровни белков (16,2-16,4%), жиров (6,4-6,5%) и золы (1,3-1,2%) находились в оптимальных для данного вида уровнях. Мышечная ткань клариевого сома обладает высокой пищевой и биологической ценностью (содержание белка на 100 г продукции составляет не менее 16 г, со средней жирностью 6,5 г/100 г продукции).

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.

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 акклиматизированных 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 критериев оценки.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Климук, А.А. Использование экстракта *Laminariocolax aecidioides* при выращивании молоди африканского клариевого сома / А.А. Климук, Т.Л. Калита, С.В. Бекетов, М.Д. Царьков, М.В. Сыроватский // Научно-практический, теоретический журнал «Ветеринария, зоотехния и биотехнология». - 2024. - № 9. - С. 123-135. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202409013. – EDN PZWGDT.(ВАК)

Статьи в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных

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

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

4. Климук, А.А. Транскриптомное исследование акклимационной способности *Clarias gariepinus* в условиях пониженных температур / А.А. Климук, А.А. Ватлин, С.В. Бекетов, Н.И. Кочетков, А.Л. Никифоров-Никишин // Успехи современной биологии. - 2025. - Т. 145. - № 5. - С. 470-480. (ВАК, МБД)

Статьи, опубликованные в других изданиях:

5. Климук, А.А. Сравнение рыбоводно-биологических показателей гибридного потомства *Clarias gariepinus*, выращенного в условиях УЗВ и прудового хозяйства / А.А. Климук,

- Т.Л. Калита, А.Л. Никифоров-Никишин, С.В. Бекетов, А.П. Минаенко // Рыбоводство и рыбное хозяйство. - 2024. - Т. 18, № 8 (223). - С. 557-566. – DOI 10.33920/sel-09-2408-04. – EDN KTSAPJ. (BAK)
6. **Климук, А.А.** Сравнение технологических характеристик гибридного потомства *Clarias gariepinus* с родительскими особями / А.А. Климук, О.Д. Сергазиева, А.К. Пономарев, С.В. Бекетов, А.Д. Ларкин, А.П. Минаенко // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2024. - Т. 86, № 2 (100). - С. 199-206. – DOI 10.20914/2310-1202-2024-2-199-206. – EDN SQCVZT. (BAK)
7. **Климук, А.А.** Опыт выращивания гибридов первого поколения африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) при пониженных температурных режимах / А.А. Климук, А.К. Пономарев, Т.Л. Калита, А.Л. Никифоров-Никишин // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. - 2024. - № 1. - С. 20-28. – DOI 10.26296/2619-0605.2024.5.1.002. – EDN YFPIWV. (BAK)
8. **Климук, А.А.** Оценка токсичности водного экстракта бурой водоросли *Laminariocolax aecidioides* с помощью lux-биосенсоров и микроядерного теста при его использовании в индустриальной аквакультуре / А.А. Климук, А.Д. Жандалгарова, Т.Л. Калита, Е.В. Игонина, О.Е. Кузьменко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2024. – № 1. – С. 62-71. (BAK)
9. **Климук, А.А.** Анализ биохимических показателей крови молоди африканского сома *Clarias gariepinus* в условиях пониженных температур содержания / А.А. Климук // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. - 2025. - № 2. - С. 36-45. – EDN ESIGWN. (BAK)
10. Сергазиева, О.Д. Обоснование эффективности получения гибридов F1 *Clarias gariepinus* («Михайловская» × «Таманская») по рыбоводно-биологическим, морфометрическим и продукционным характеристикам / О.Д. Сергазиева, А.А. Климук, М.Д. Царьков, А.А. Бахарева, Ю.Н. Грозеску, А.Н. Неваленный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. - 2025. - № 3. - С. 41-50. - DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-3-41-50>. (BAK)

Учебные пособия:

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

Свидетельства о государственной регистрации базы данных:

12. Свидетельство о регистрации базы данных № 2025621921 / А.А. Климук, Д.Л. Никифоров-Никишин, В.А. Климов, О.Д. Сергазиева. № 2025621921: заявл. 14.02.2025: опубл. 28.04.2025.