

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 113-128.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 113-128.

Научная статья
УДК 597.442
doi: 10.33284/2658-3135-109-3-113

Повышение эффективности формирования ремонтно-маточного стада сибирского осетра (*Acipenser baerii*) в промышленных условиях

Николай Владимирович Бардуков¹, Владислав Игоревич Никипелов²,
Петр Ильич Отраднов³, Амина Кумаровна Никипелова⁴

¹²³⁴Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹bardukv-nikolajj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5497-2409>

²vladnikipelovvij@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6411-2454>

³deriteronard@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

⁴nikipelova_aminavij@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8248-7555>

Аннотация. В статье представлены результаты разработки и экспериментальной апробации комплексного подхода к формированию ремонтно-маточного стада сибирского осетра (*Acipenser baerii*) в условиях аквакультуры. Исследования проведены на 385 особях ленской популяции (генерация 2022) в установке замкнутого водоснабжения в 2023-2026 гг. Генетическое определение пола выполняли методом ПЦР в реальном времени с использованием специфичного по отношению к полу маркера *AllWSex2*. Сравнительный морфометрический анализ выявил, что в возрасте до 2 лет достоверных различий между самцами и самками по массе и линейным размерам не наблюдалось, однако после 2,5 лет самцы начинают статистически значимо отставать от самок ($P \leq 0,05-0,001$), что связано с более ранним половым созреванием самцов. К 3 годам 11 месяцам средняя масса самок (7976,09 г) превышала массу самцов (6988,8 г) на 14 %. Ультразвуковая диагностика в возрасте 3 лет 11 месяцев подтвердила пол у 93,0 % особей (совпадение с генетическим тестом: самки – 96,7 %, самцы – 88,9 %). Выявлено 7,0% особей с аномалиями развития гонад, подлежащих выбраковке. Разработанный комплексный подход позволяет повысить эффективность селекционной работы и снизить экономические издержки при формировании ремонтно-маточных стад осетровых в аквакультуре.

Ключевые слова: аквакультура, сибирский осетр, ремонтно-маточное стадо, *AllWSex2*, ультразвуковая диагностика, ПЦР в реальном времени, половой диморфизм

Благодарности. работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2025-2027 гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (№ FGGN-2025-0005).

Для цитирования: Повышение эффективности формирования ремонтно-маточного стада сибирского осетра (*Acipenser baerii*) в промышленных условиях / Н.В. Бардуков, В.И. Никипелов, П.И. Отраднов, А.К. Никипелова // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 113-128. [Bardukov NV, Nikipelov VI, Otradnov PI, Nikipelova AK. Improving the efficiency of formation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) replacement broodstock in industrial conditions. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):113-128. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-113>

Original article

Improving the efficiency of formation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) replacement broodstock in industrial conditions

Nikolay V Bardukov¹, Vladislav I Nikipelov², Petr I Otradnov³, Amina K Nikipelova⁴

¹²³⁴Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹bardukv-nikolajj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5497-2409>

²vladnikipelovvij@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6411-2454>

³deriteronard@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

⁴nikipelova_aminavij@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8248-7555>

Abstract. The article presents the results of the development and experimental testing of an integrated approach to the formation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) replacement broodstock in aquaculture conditions. The study was conducted on 385 individuals of the Lena population (generation 2022) in a recirculating aquaculture system from 2023 to 2026. Genetic sex determination was performed using real-time PCR with the female-specific marker *AllWSex2*. Comparative morphometric analysis revealed that up to 2 years of age, no significant differences in body weight and linear dimensions were observed between males and females; however, after 2.5 years, males began to lag significantly behind females ($P \leq 0.05-0.001$), which is associated with earlier sexual maturation of males. By 3 years 11 months, the average body weight of females (7976.09 g) exceeded that of males (6988.8 g) by 14%. Ultrasound diagnostics at 3 years 11 months confirmed sex in 93.0% of individuals (agreement with the genetic test: females – 96.7%, males – 88.9%). Gonadal developmental anomalies (hypoplasia) were identified in 7.0% of individuals, which were subject to culling. The developed integrated approach improves the efficiency of selective breeding and reduces economic costs in the formation of sturgeon replacement broodstock in aquaculture.

Keywords: aquaculture, Siberian sturgeon, replacement broodstock, *AllWSex2*, ultrasound diagnostics, real-time PCR, sexual dimorphism

Acknowledgments: the work was supported in accordance to the plan of research works for 2025-2027 LK Ernst Federal Research Center (No. FGGN-2025-0005).

For citation: Bardukov NV, Nikipelov VI, Otradnov PI, Nikipelova AK. Improving the efficiency of formation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) replacement broodstock in industrial conditions. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):113-128. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-113>

Введение.

Осетровые рыбы (семейство *Acipenseridae*) – одна из наиболее коммерчески ценных групп в мировой аквакультуре. В этой сфере выделяют два направления: контролируемое разведение с последующим выпуском в естественную среду и товарное выращивание (Vasilyeva LM et al., 2019; Tavakoli S et al., 2021). Основной причиной развития товарного выращивания осетровых стало резкое сокращение природных популяций. Так, к концу 1990-х годов естественные запасы диких осетров, прежде всего в Каспийском и Азово-Черноморском бассейнах, оказались на критически низком уровне в результате браконьерства, зарегулирования стока рек, утраты естественных нерестилищ. Практически все виды семейства включены в Приложение II СИТЕС, а промысловый вылов прекращен (Chandra G and Forp-Bayat D, 2021; Pueppke SG et al., 2023).

В сложившихся условиях аквакультура осетровых полностью заменила промысловый вылов и стала основным источником рыбной продукции (Хатунцов Д.С. и Ларкин А.Д., 2019). По данным глобального мониторинга, в 2017 году в мире насчитывалось 2329 товарных осетровых хозяйств. Более половины из них (54 %) расположены в Китае, 24 % – в России, остальные – в странах Европы, Ближнего Востока и Северной Америки. Так, объем товарного выращивания осетровых в 2015 году составил 129,6 тыс. тонн, что более чем в четыре раза превышает максимальные показатели вылова диких особей в 1970-1980-х годах. В 2017 году было произведено 102,3 тыс. тонн мяса, в основном полученного от сибирского осетра (39,5 %). Производство пище-

вой икры также демонстрирует устойчивый рост. В 2017 году общемировой объем достиг 364 тонн. На долю Китая пришлось более 100 тонн, России – 49 тонн, Италии – 43 тонны, Франции – 37 тонн. В икорном производстве сибирский осетр занимает лидирующее положение – 31 %, русский осетр – 20 %, гибрид калуга×амурский осетр – 13 % (Bronzi P et al., 2019). Широкое распространение сибирского осетра в товарном осетроводстве подтверждается тем, что вид культивируется более чем в 50 странах мира (Ak K et al., 2019; Panagiotopoulou H et al., 2023).

Несмотря на значительные преимущества данного объекта как наиболее распространенного вида в аквакультуре, его биологические особенности затрудняют формирование ремонтно-маточных стад икорного направления. У осетровых рыб визуальная дифференциация полов затруднена в связи со слабой выраженностью внешних половых признаков. Для определения пола применяются инвазивные методы, включая биопсию и эндоскопию (Maskill P et al., 2021; Curzon AY et al., 2022).

Эндоскопия, а также хирургические методы (например, диагностическая лапаротомия) используются ограниченно в связи с их травматичностью, высокой зависимостью от квалификации оператора и применимостью преимущественно у особей со сформированными гонадами (Kazemi R et al., 2019). Биопсия используется для оценки состояния гонад, в том числе степени поляризации икры. Дополнительные трудности связаны с асинхронностью раннего развития гонад даже в пределах одной популяции, что снижает точность диагностики (Golpour A et al., 2021).

В настоящее время наиболее информативным неинвазивным способом определения пола является ультразвуковая диагностика (УЗИ) (Барулин Н.В. и Богданов Р.Е., 2021). В работах Чебанова М.С. и Галич Е.В. (2018) представлены атласы эхограмм, позволяющие с высокой точностью отбирать производителей по полу и стадии зрелости гонад. Вместе с тем данный подход имеет ряд ограничений и эффективен лишь при достижении рыбой определенного возраста (Oskina AA et al., 2022). У сибирского осетра идентификация пола при ультразвуковом сканировании, как правило, происходит в возрасте 3-4 лет. В более ранние сроки гонады недостаточно дифференцированы для уверенного определения пола. Кроме того, применение УЗИ требует высокой квалификации специалиста и опыта интерпретации данных. До проведения диагностики хозяйство несет издержки, обусловленные совместным содержанием самок и самцов. В условиях товарного осетроводства икорного направления выращивание самцов до возраста, позволяющего установить пол (3-5 лет и старше), сопровождается прямыми экономическими потерями, связанными с расходами на корма, использование производственных площадей и трудовых ресурсов.

До недавнего времени попытки разработки генетических тестов для определения пола у осетровых не приводили к созданию методов, пригодных для практического применения в аквакультуре (Keyvanshokoo S and Gharaei A, 2010; Wuertz S et al., 2006). Был идентифицирован консервативный специфичный геномный регион *AllWSex2* у стерляди и разработана тест-система определения пола (Kuhl H et al., 2021). В ряде исследований (Scribner KT and Kanefsky J, 2021; Panagiotopoulou H et al., 2023) показана применимость метода для семи видов осетровых, включая сибирского осетра (*Acipenser baerii*).

Применение ДНК-теста позволяет определять генетический пол на ранних этапах развития до наступления полового созревания. Однако генетический тест не дает информации о том, насколько особь пригодна для икорного производства: развитии гонад, сроках созревания. Эти параметры могут быть оценены только в ходе регулярного мониторинга, ключевую роль в котором играет ультразвуковая диагностика (Чебанов М.С. и Галич Е.В., 2018). Таким образом, генетический анализ позволяет установить пол особи на ранних этапах онтогенеза, тогда как УЗИ-диагностика оценивает состояние и динамику развития гонад в более позднем возрасте.

В последние годы в российских исследованиях все большее внимание уделяется внедрению генетических методов для повышения эффективности селекционной работы с сибирским осетром. Так, были разработаны подходы к оценке племенной ценности на основе генетической паспортизации (Отрадных П.И. и др., 2025) и определены возможности микросателлитного анализа для установления достоверности происхождения и управления генетической структурой стада (Бардуков Н.В. и др., 2024). Эти работы подчеркивают высокий потенциал молекулярно-генетических инструментов в осетроводстве. Однако применение этих подходов в составе единой системы формирования ремонтно-маточного стада икорного направления до настоящего времени не рассматривалось.

Цель исследования.

Разработать и экспериментально апробировать комплексный подход к формированию ремонтно-маточного стада сибирского осетра (*Acipenser baerii*) в условиях аквакультуры.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Ремонтно-маточное стадо сибирского осетра *Acipenser baerii* (ленская популяция) генерации 2022 года.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов, протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

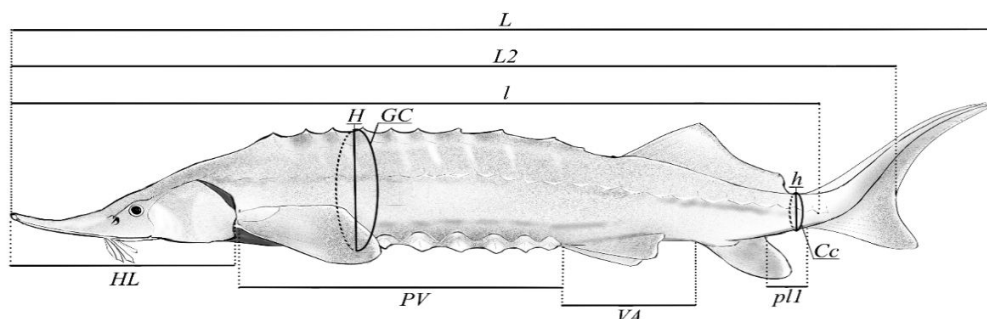
Схема эксперимента. Исследования проводились в 2023-2026 гг. Молодь была получена от коммерческого производителя ООО РТФ «Диана» (Вологодская область, Кадуйский район) в возрасте 9 месяцев. Начальная численность составляла 385 особей при средней массе 340 г. Содержание рыбы осуществляли в экспериментальной установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, оснащенной стандартными узлами водоподготовки. Гидрохимические параметры воды контролировали на протяжении всего периода выращивания. Основные показатели среды находились на стабильном уровне: концентрация растворенного кислорода составляла $10,51 \pm 0,001$ мг/л, температура – $+20,34 \pm 0,04$ °С, активная реакция среды (рН) – $7,78 \pm 0,015$. Содержание соединений азотного цикла оставалось в пределах допустимых значений: аммоний – $0,04 \pm 0,005$ мг/л, нитриты – $0,12 \pm 0,018$ мг/л, нитраты – $13,93 \pm 1,05$ мг/л. Все показатели соответствовали нормативным значениям для выращивания сибирского осетра (Чебанов М.С. и Галич Е.В., 2018).

Кормление осуществляли вручную четыре раза в сутки с использованием специализированных продукционных кормов для осетровых рыб. Нормы кормления корректировали на основании регулярных контрольных взвешиваний с учетом прироста биомассы.

Измерения выборки сибирского осетра (рис. 1) проводили в соответствии с методикой Крылова В.Д. и Соколова Л.И. (1981) в следующие периоды: 16 января 2023 г. (возраст рыб 0 лет 9 мес.), 7 июня 2023 г. (1 год 1 мес.), 28 сентября 2023 г. (1 год 5 мес.), 7 декабря 2023 г. (1 год 7 мес.), 11 марта 2024 г. (1 год 10 мес.), 25 июня 2024 г. (2 года 2 мес.), 3 сентября 2024 г. (2 года 4 мес.), 3 декабря 2024 г. (2 года 7 мес.), 31 марта 2025 г. (2 года 11 мес.), 25 июня 2025 г. (3 года 2 мес.), 18 декабря 2025 г. (3 года 8 мес.) и 20 марта 2026 г. (3 года 11 мес.).

Генетическое определение пола осуществляли с помощью, разработанной тест-системы на основе маркера *AllWSex2* (Kuhl H et al., 2021). Образцы тканей (фрагмент плавника, размером 1 см) отбирали у всех особей. Выделение геномной ДНК осуществляли с помощью набора реагентов «Экстрен-2» (НПК «Синтол», Россия) согласно протоколу производителя. Валидацию тест-системы проводили путем сопоставления результатов ПЦР с морфологической идентификацией пола при контрольном вскрытии 25 особей в возрасте 3 лет.

В процессе выращивания проводили селекционный отбор с регулярной выбраковкой особей, характеризующихся замедленным ростом, морфологическими деформациями, травмами и аномалиями развития. К апрелю 2026 г. численность ремонтно-маточного стада составила 57 особей с установленным генетическим полом. Пополнение фенотипической базы осуществляли путем индивидуального взвешивания и снятия морфометрических признаков во время плановых бонитировок. Массу тела (W, г) определяли с точностью $\pm 2,5$ г на электронных весах M-ER 326 AFU-32.1. Морфометрические показатели измеряли с помощью штангенциркуля ШЦ-II-250-0,02 (ГОСТ 166-89) и измерительной ленты (150×2 см) с погрешностью ± 2 мм. Особей с выраженными морфологическими отклонениями исключали из дальнейшего анализа.



Примечание: L – абсолютная длина (см); l – промысловая длина (см); L• – длина рыбы до конца средних лучей хвостового плавника (см); HL – длина головы (см); PV – пектоventральное расстояние (расстояние от основания грудного плавника до анального отверстия) (см); VA – вентроанальное расстояние (расстояние от основания анального плавника до анального отверстия) (см); pl• – длина хвостового стебля (см); H – наибольшая высота тела (см); h – высота хвостового стебля (см); GC – обхват тела (см); Cc – обхват хвостового стебля (см).

Note: L – absolute length (cm); l – commercial length (cm); L• – length to the end of the median rays of the caudal fin (cm); HL – head length (cm); PV – pectoventral distance (distance from the base of the pectoral fin to the anus) (cm); VA – ventroanal distance (distance from the base of the anal fin to the anus) (cm); pl• – caudal peduncle length (cm); H – maximum body depth (cm); h – caudal peduncle depth (cm); GC – body girth (cm); Cc – caudal peduncle girth (cm).

Рисунок 1. Схема морфометрических измерений осетровых рыб
 Figure 1. Scheme of morphometric measurements of sturgeon fishes

Данные регистрировали в электронной базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Зиновьева Н.А. и др., 2024).

Для неинвазивной диагностики стадии половой зрелости и оценки развития гонад применяли ультразвуковой диагностический аппарат *AcuVista RS880c* с линейным датчиком L40 (глубина сканирования 4-5 см). Перед исследованием рыб выдерживали на 5-суточной голодовке для улучшения визуализации гонад. Определение стадий зрелости проводили по классификации Трусова В.З. (1964). Одновременно выполняли выбраковку особей с аномалиями в развитии гонад.

Индивидуальный учет особей обеспечивали с помощью PIT-меток, введенных в мышечную ткань в области третьей спинной жучки. Считывание меток проводили портативным сканером ANIMAL TAG READER.

Генетическое определение пола осуществляли методом ПЦР в реальном времени на амплификаторе QuantStudio 3 Real-Time с использованием разработанной тест-системы на основе маркера *AllWSex2* (Kuhl H et al., 2021).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Электронные весы M-ER 326 AFU-32.1 (Mertech, Южная Корея). Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,02 (ГОСТ 166-89), измерительная лента (150×2 см) с погрешностью ±2 мм. Ультразвуковой диагностический аппарат *AcuVista RS880c* (Литва) с линейным датчиком L40 (глубина сканирования 4-5 см). Считывание PIT-меток проводили портативным сканером ANIMAL TAG READER (Китай). Амплификатор QuantStudio 3 Real-Time («Thermo Fisher Scientific, Inc», США) с использованием разработанной тест-системы на основе маркера *AllWSex2*.

Статистическая обработка. Статистический анализ данных проводили с использованием программы Microsoft Excel («Microsoft», США). Различия между группами самцов и самок оценивали с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

где: М – среднее арифметическое значение изучаемого признака в выборке (1 – особей женского пола, 2 – особей мужского пола),
m – ошибка среднего арифметического.

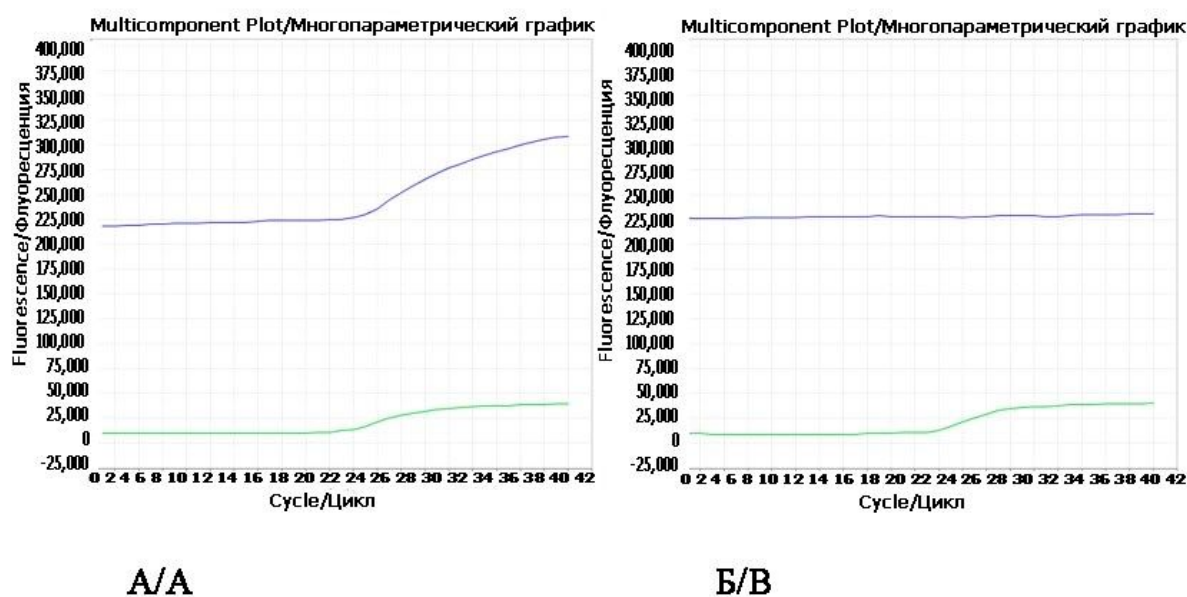
Визуализация данных проводилась при помощи средств библиотеки ggplot2 языка программирования R версии 4.5.3 в среде разработки «RStudio» («Posit Software», PBC, США).

Результаты исследований.

На основе последовательности специфичного по отношению к полу локуса *AllWSex2* были подобраны праймеры и флуоресцентно-меченый зонд для ПЦР в реальном времени. В протокол также включен внутренний амплификационный контроль (Acipenser-PCR control), комплементарный консервативному участку генома осетровых. Контрольный фрагмент детектировали в канале R6G, что позволило оценить пригодность ДНК и корректность проведения реакции.

Детекцию целевого локуса осуществляли в канале FAM. Наличие флуоресцентного сигнала в этом канале соответствовала генотипу ZW (самка), отсутствие – генотипу ZZ (самец). При отсутствии сигнала R6G образец считали непригодным для анализа независимо от результата в канале FAM. Таким образом, включение внутреннего контроля исключает ложноотрицательные заключения, связанные с низким качеством ДНК, присутствием ингибиторов ПЦР или нарушениями при постановке реакции.

На рисунке 2 представлены типичные кривые накопления флуоресцентного сигнала при ПЦР в реальном времени для самок и самцов.



Примечание: канал R6G (зеленый) – амплификация контрольного фрагмента (консервативный участок генома осетровых); канал FAM (синий) (детекция локуса *AllWSex2*; А – самка, Б – самец

Note: R6G channel (green) – amplification of the control fragment (conservative region of the sturgeon genome); FAM channel (blue) – detection of the female• specific locus *AllWSex2*; A – female, B – male

Рисунок 2. Флуоресцентные кривые детекции локуса *AllWSex2* и внутреннего контроля (каналы FAM и R6G) при ПЦР-определении пола *Acipenser baerii*
Figure 2. Fluorescence detection curves of the *AllWSex2* locus and internal control (FAM and R6G channels) in PCR sex determination of *Acipenser baerii*

Была проведена ультразвуковая диагностика пола и стадий зрелости гонад у 57 особей сибирского осетра и сопоставление результатов с ранее установленным генетическим полом (ДНК-анализ). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение особей сибирского осетра по полу и стадиям зрелости гонад на основании результатов ультразвуковой диагностики и ДНК-тестированию (апрель 2026 г.)
 Table 1. Distribution of Siberian sturgeon individuals by sex and gonadal maturity stages based on the results of ultrasound diagnostics and DNA testing (April 2026)

Показатель / Parameter	Самец/ Male	Самка/ Female	Всего/Total
Определение пола по ДНК / DNA sex determination	27	30	57
Совпадение пола по УЗИ, n/Ultrasound sex match, n	24	29	53
Совпадение пола по УЗИ, % / Ultrasound sex match, %	88,9	96,7	93,0
Стадия зрелости гонад (УЗИ-диагностика) / Gonadal maturity stage (ultrasound diagnosis)			
Стадия II / Stage II	8	25	33
Стадия III / Stage III	13	4	17
Стадия IV / Stage IV	3	0	3
Аномалии развития гонад (слабое развитие), n / Gonadal developmental anomalies (underdevelopment), n	3	1	4

Примечание: стадии зрелости гонад определены согласно общепринятой шкале для осетровых рыб

Note: Gonadal maturity stages were determined according to the generally accepted scale for sturgeon fish

Ультразвуковое сканирование позволило визуализировать гонады у 53 из 57 особей (93,0 %). Совпадение результатов УЗИ с генетическим полом составило 96,7 % у самок и 88,9 % – у самцов. Наибольшее число расхождений отмечено у самцов, что может быть обусловлено меньшей экзогенностью семенников на ранних стадиях развития, а также техническими ограничениями при работе с рыбами массой менее 3 кг.

Распределение по стадиям зрелости гонад носило выраженный половой диморфизм. У самок доминировала стадия II (25 из 30, или 83,3 %), что соответствует периоду протоплазматического роста ооцитов и началу вителлогенеза. У самцов преобладала стадия III (13 из 27, или 48,1 %), свидетельствующая об активном сперматогенезе. Стадия 4 зафиксирована только у самцов (3 особи), что указывает на их более раннюю половую зрелость.

Аномалии развития гонад в виде гипоплазии выявлены у 4 особей (7,0 % от общего числа стада). У трех самцов отмечено значительное отставание в развитии семенников (интерпретация как стадия I-II при хронологическом возрасте, соответствующем стадии III-IV), у одной самки – асимметричное развитие яичников с редукцией гонады. Все особи с аномалиями были отнесены к категории потенциальных выбраковок.

Для валидации тест-системы выполнено вскрытие 25 особей сибирского осетра в возрасте 3 года 11 месяцев с последующей морфологической идентификацией пола по строению гонад (рис. 3А, Б).



Примечание: А – самка; Б – самец

Note: A – female; B – male

Рисунок 3. Вскрытие самки и самца сибирского осетра в возрасте 3 года 11 месяцев
 Figure 3. Autopsy of a female and male Siberian sturgeon aged 3 years 11 months

У самок визуализировались парные яичники с неоднородной мелкобугристой структурой, что соответствует женскому полу (рис. 3А). У самцов определялись парные семенники с гладкой поверхностью и плотной консистенцией, характерные для мужского пола (рис. 3Б).

Таким образом, у всех вскрытых рыб результаты генетического анализа полностью совпали с визуальной идентификацией пола по строению гонад, что свидетельствует о 100 % точности разработанной тест-системы.

В ходе сравнительного анализа морфометрических показателей самцов и самок сибирского осетра в возрасте от 9 мес. до 3 лет 11 мес. были получены данные о возрастной динамике развития половых различий (табл. 2).

Таблица 2. Разность средних значений морфометрических признаков между самцами и самками сибирского осетра в зависимости от возраста и суммы эффективных температур (градусо-дней)

Table 2. Mean morphometric trait differences between male and female Siberian sturgeon by age and sums of effective temperatures (degree-days)

Возраст / Age	Градусо-дни/ Degree-days	P	l	HL	PV	VA
9 мес./ 9 months	2700	11,9	0,3	0,0	0,1	0,0
1 г. 1 м./ 1 y. 1 m.	5490	7,0	0,2	0,0	0,0	-0,1
1 г. 5 м./ 1 y. 5 m.	7796	6,1	0,2	0,0	0,0	-0,1
1 г. 7 м./ 1 y. 7 m.	9221	26,8	-0,1	0,1	0,1	-0,1
1 г. 10 м./ 1 y. 10 m.	13298	2,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2
2 г. 2 м./ 2 y. 2 m.	14779	-45,9	-0,7	-0,4	-0,1	-0,2
2 г. 4 м./ 2 y. 4 m.	16611	-139,3	-1,8	-0,6**	-0,3	-0,4
2 г. 7 м./ 2 y. 7 m.	18896	-158,9	-2,0*	-0,6*	-0,5	-0,3
2 г. 11 м./ 2 y. 11 m.	20694	-268,8	-2,1	-0,6*	-0,5	-0,5
3 г. 2 м./ 3 y. 2 m.	24218	-191,8	-1,7	-0,8*	-0,2	-0,1
3 г. 8 м./ 3 y. 8 m.	25201	-904,7**	-5,1**	-1,0*	-2,0**	-0,9**
3 г. 11 м./ 3 y. 11 m.	26133	-987,3*	-5,6***	-0,9*	-2,4**	-0,9*

Примечание: все значения (P, l, HL, PV, VA) представляют собой разность между самцами и самками сибирского осетра; достоверность отличий отмечена звездочками: * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$. Градусо-дни – сумма эффективных температур на дату измерения. P – живая масса (г), l – промысловая длина (см), HL – длина головы (см), PV – пекто ventральное расстояние (см), VA – вентроанальное расстояние (см);

Note: All values (P, l, HL, PV, VA) represent the difference between male and female Siberian sturgeon; significance of differences is marked with asterisks: * – $P \leq 0.05$, ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$. Degree-days – sum of effective temperatures on the measurement date. P – Live weight (g), l – commercial length (cm), HL – head length (cm), PV – pecto ventral distance (cm), VA – ventroanal distance (cm)

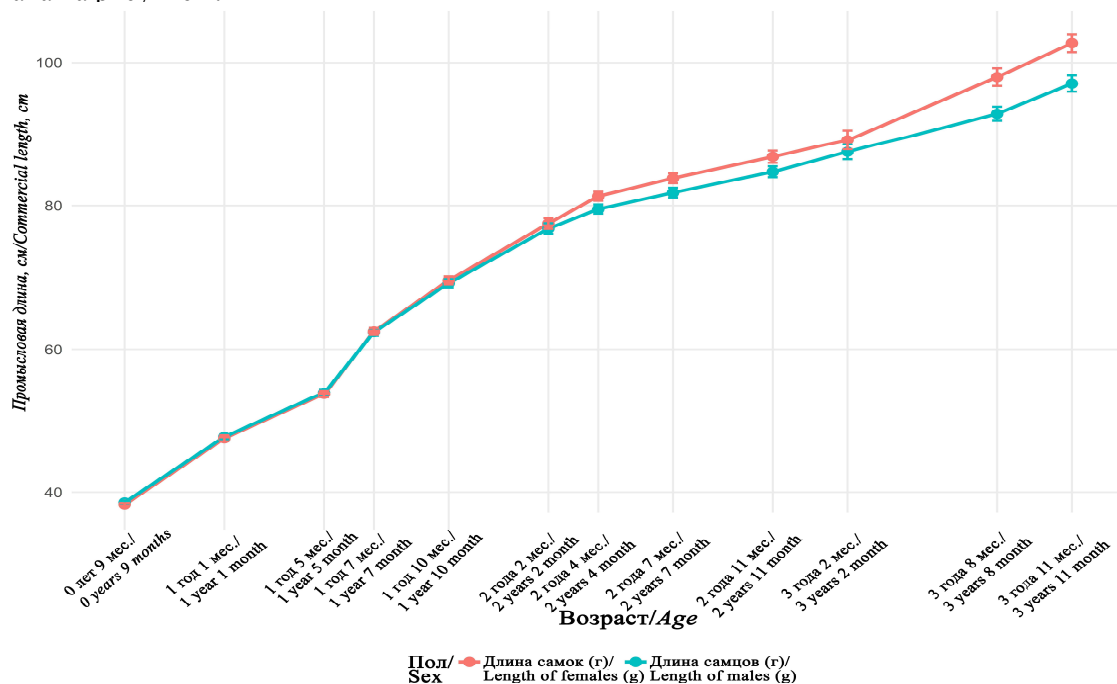
Согласно представленным результатам, в возрастном интервале от 9 месяцев до 1 года 10 месяцев у самцов отмечается незначительное и статистически незначимое превышение массы тела (P) по сравнению с самками. По промысловой длине (l), длине головы (HL) и пекто ventральному расстоянию (PV) статистически значимых межполовых различий также не было обнаружено ($p > 0,05$). По вентроанальному расстоянию (VA) отрицательные значения (меньшие размеры у самцов) наблюдаются, начиная с возраста 1 год 1 месяц и увеличиваются во все последующие периоды проведения измерений.

В возрасте с 2 лет 2 месяцев по 2 года 4 месяца значения разности большинства исследованных показателей приближаются к нулю, что указывает на отсутствие межполовых различий по данным признакам. Вместе с тем именно на этом этапе онтогенеза впервые регистрируется превосходство по массе тела ($P = -45,9$ в возрасте 2 года 2 месяца) у самок по отношению к самцам.

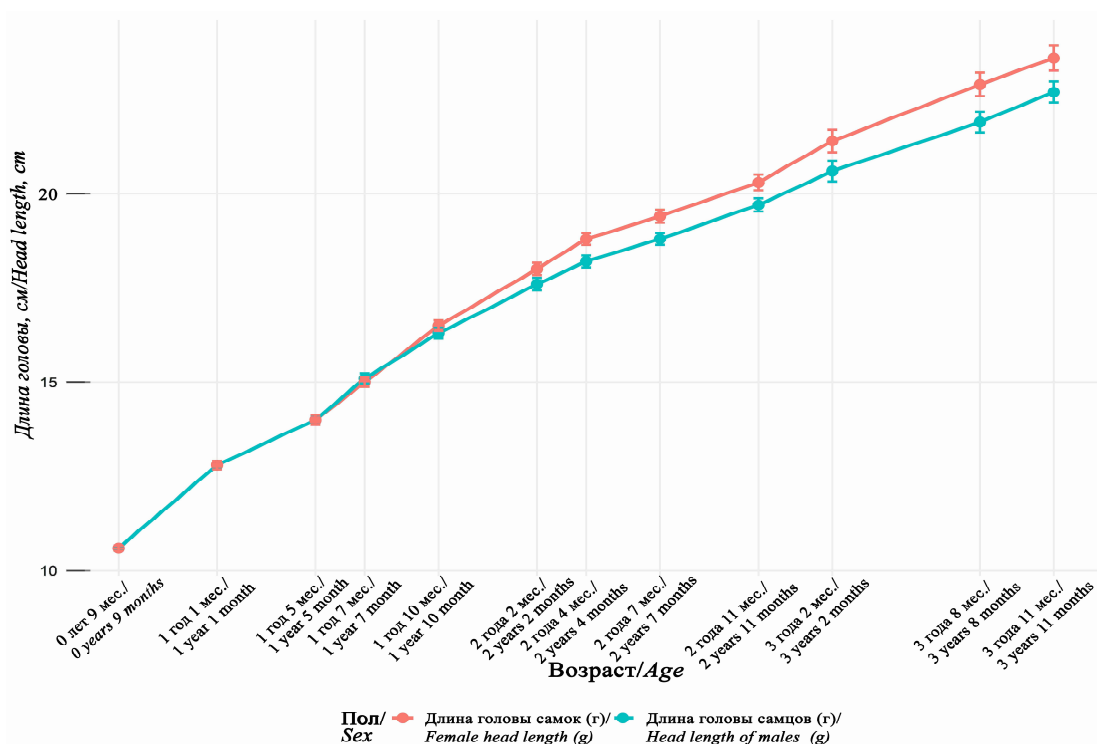
Начиная с возраста 3 года 8 месяцев до 3 лет 11 месяцев разность средних значений между самцами и самками по всем исследуемым признакам становится статистически значимой, что указывает на достоверное преобладание самок по размерно-массовым характеристикам. Статистически значимые различия зафиксированы для массы тела (P), промысловой длины (l), длины головы

(*HL*), пектовентрального (*PV*) и вентроанального (*VA*) расстояний при уровнях значимости $P \leq 0,05$; $P \leq 0,001$.

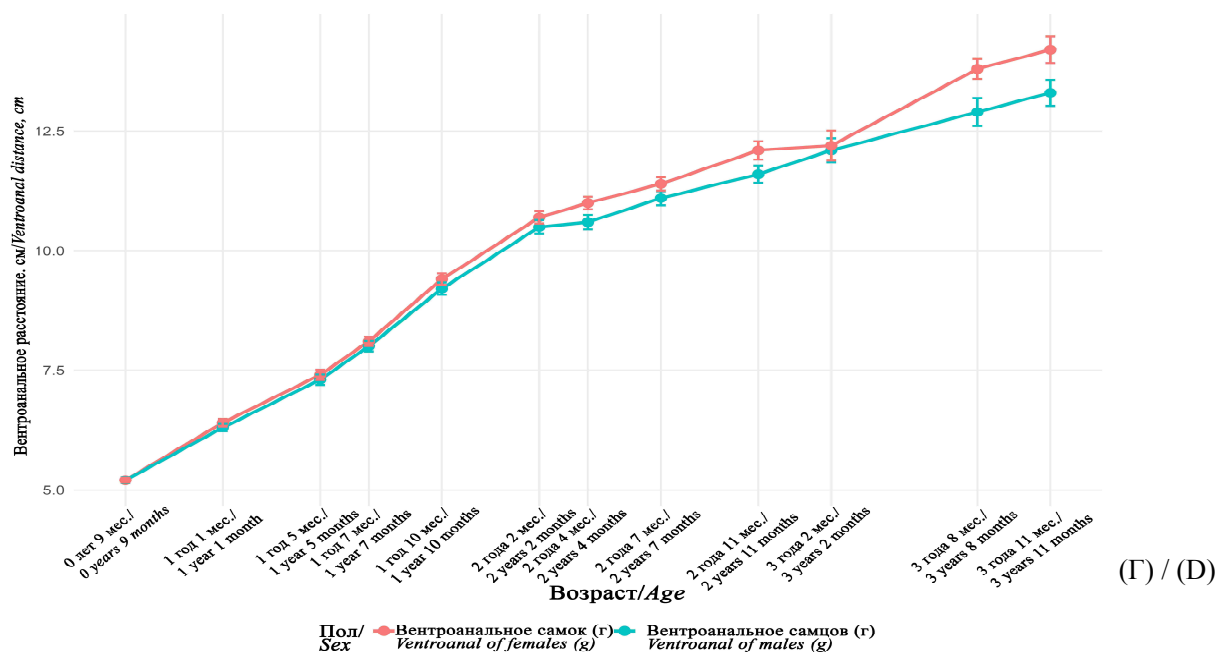
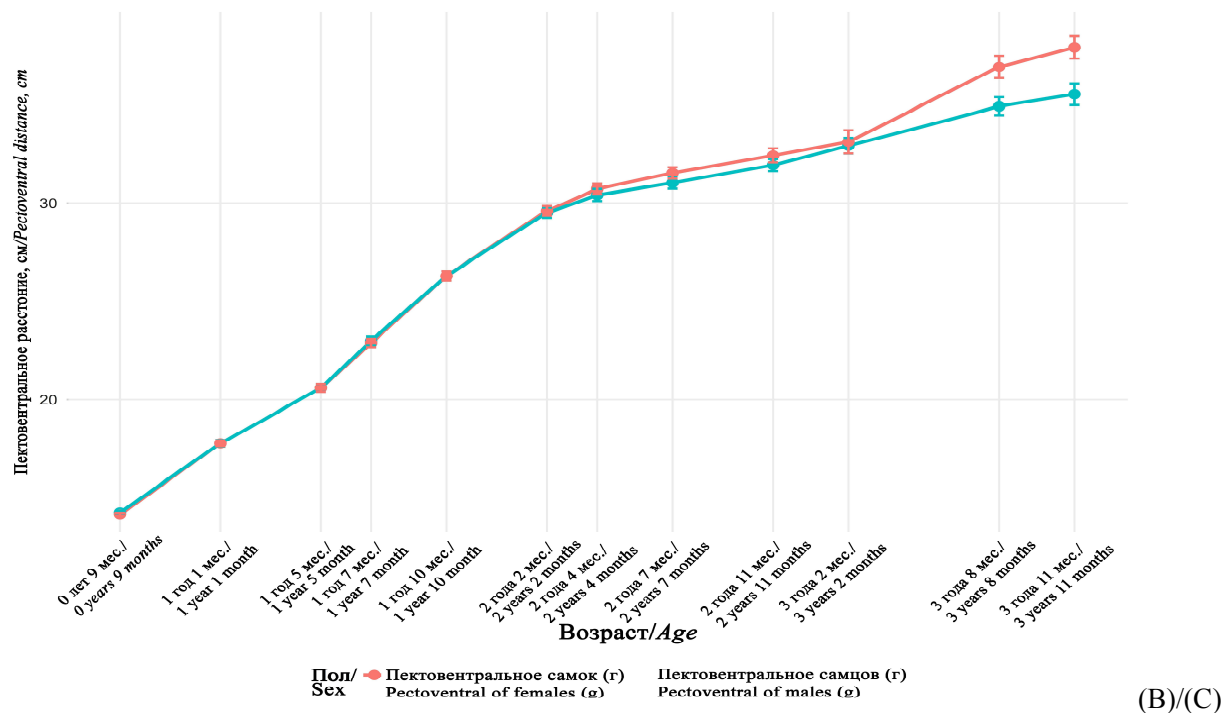
Наблюдаемая динамика с учетом ошибки среднего арифметического ($\pm m$) проиллюстрирована на рисунке 4.



(A)/(A)



(Б)/(B)



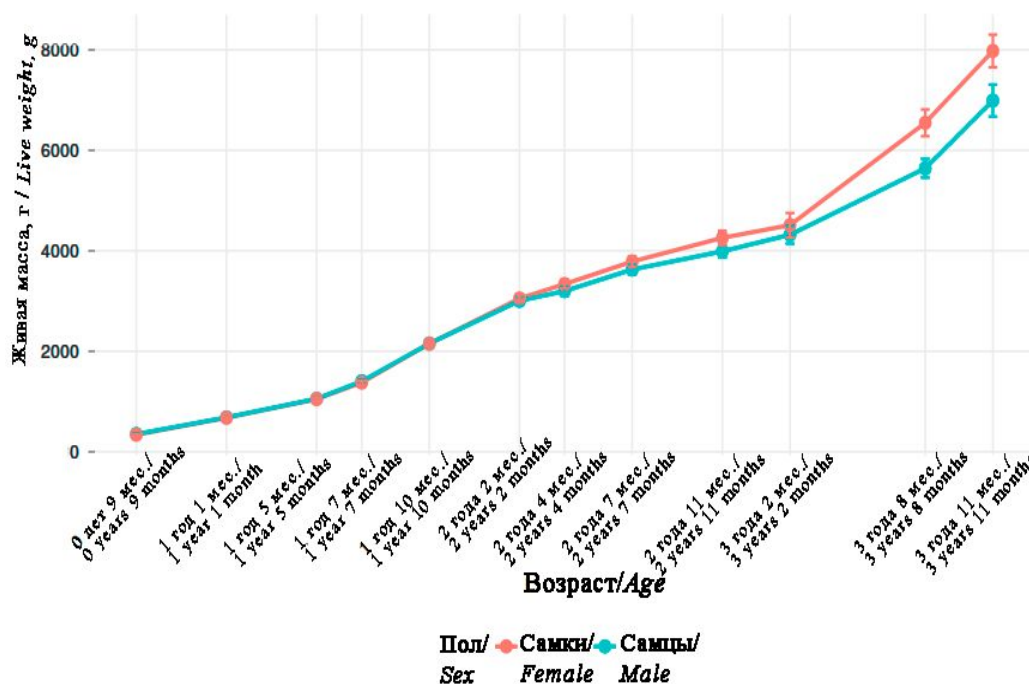


Рисунок 4. Зависимость средних арифметических значений исследованных признаков от пола в разном возрасте у особей сибирского осетра (*Acipenser baerii*) А) Промысловой длины, см (L), Б) Длины головы, см (HL), В) Пектоцентрального расстояния, см (PV), Г) Вентроанального расстояния, см (VA),+ Д) Живой массы, г. (P)
 Figure 4. Relationship between mean values of studied traits and sex in different ages in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*): А) Commercial length, cm (L); Б) Head length, cm (HL); В) Pectoventral distance, cm (PV); Г) Ventroanal distance, cm (VA); Д) Live weight, g (P)

Обсуждение полученных результатов.

Результаты проведенного исследования подтверждают высокую эффективность комплексного подхода к формированию ремонтно-маточного стада сибирского осетра, основанного на сочетании раннего генетического определения пола с использованием локуса *AllwSex2* и последующей ультразвуковой диагностики функционального состояния гонад. Разработанная тест-система ПЦР в реальном времени показала 100 % точность на 25 особях (методом вскрытия), что полностью согласуется с данными других ученых (Kuhl H et al., 2021). Аналогичные результаты отмечены для сибирского, короткорылового, персидского и атлантического осетров (Panagiotopoulou H et al., 2023; Sard NM et al., 2024).

Полученные данные соответствуют биологическим особенностям осетровых: самцы достигают половой зрелости раньше самок. В период созревания энергетические ресурсы организма перераспределяются с соматического роста на развитие гонад, что приводит к относительному замедлению роста самцов. Особенно достоверное отставание самцов фиксируется в возрасте 3 года 8 мес. и 3 года 11 мес. на III-V стадии зрелости, в то время как самки остаются на II стадии.

Сходные результаты получены в работах других авторов. Например, у китайского осетра самцы созревают раньше самок, и их рост после созревания замедляется (He S et al., 2020); отмечено перераспределение энергетических ресурсов в пользу гонад у самцов сибирского осетра (Belou AA et al., 2026). Таким образом, наши данные подтверждают, что более раннее половое созревание самцов осетровых является основной причиной отставания в росте по сравнению с самками.

Полученные данные подтверждают высокую эффективность ультразвуковой диагностики. Общая точность метода (93,0 %) соответствует ранее опубликованным результатам для *Acipenser*

baerii (Vizziano-Cantonnet D et al., 2018). Более низкая точность УЗИ-диагностики у самцов (88,9 %) по сравнению с самками (96,7 %) связана со сложностями оценки состояния гонад у некоторых особей. У 3 из 27 самцов (11,1 %) семенники по данным УЗИ соответствовали стадии I–II, а у остальных самцов того же возраста в данном стаде регистрировалась стадия III–IV. В таких случаях достоверно определить стадию зрелости и подтвердить пол затруднительно из-за отсутствия характерной структуры эхограмм гонад. Выявленные аномалии в развитии гонад (7,0 %) не превышают средних значений для ремонтно-маточных стад осетровых (5–10 %). Данные особи подлежат дальнейшей выбраковке для успешного формирования ремонтно-маточного стада икорного направления.

Заключение.

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что предварительное определение генетического пола с использованием ДНК-маркера *AllwSex2* позволяет интегрировать ультразвуковую диагностику не только для верификации пола, но прежде всего для оценки функционального состояния гонад. Фактически, затруднения при УЗИ-визуализации у самцов возникали исключительно в случаях недоразвитости семенников (3 из 27, 11,1 %), что, очевидно, вносит некоторую неопределенность в интерпретацию пола, однако позволяет утверждать об эффективности применённого подхода для оценки развития гонад при формировании икорного маточного стада.

Список источников

1. Барулин Н.В., Богданов Р.Е. Оценка возможности определения готовности самок веслоноса к нересту при помощи ультразвуковой диагностики // Животноводство и ветеринарная медицина. 2021. № 1(40). С. 33–39. [Barulin NV, Bogdanov RE. Estimation of possibility of determination of readiness of paddlefish females to spawning with the help of ultrasonic diagnostics. Animal Agriculture and Veterinary Medicine. 2021;1(40):33–39. (In Russ.)].
2. Крылов В.Д., Соколов Л.И. Методика морфометрических исследований осетровых рыб. М.: ВНИРО, 1981. 76 с. [Krylov VD, Sokolov LI. Metodika morfometricheskikh issledovaniy osetrovyykh ryb. Moscow: VNIRO; 1981:76 p. (In Russ.)].
3. Определение достоверности происхождения сибирского осетра на основе результатов микросателлитного анализа и коэффициентов генетического сходства / Н.В. Бардуков, А.К. Никипелова, П.И. Отрадных, В.И. Никипелов, А.А. Белоус // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 106–119. [Bardukov NV, Nikipelova AK, Otradnov PI, Nikipelov VI, Belous AA. Determining the reliability of the origin of Siberian sturgeon based on the results of microsatellite analysis and genetic similarity coefficients. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(4):106–119. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-106
4. Оценка племенной ценности сибирского осетра (*Acipenser baerii*) на основании системы генетической паспортизации / П.И. Отрадных, В.И. Никипелов, А.К. Никипелова, А.Ю. Боборыкин, А.А. Белоус // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 149–168. [Otradnov PI, Nikipelov VI, Nikipelova AK, Boborykin AY, Belous AA. Breeding assessment of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) based on the system of genetic certification. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):149–168. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-108-3-149
5. Трусов В.З. Некоторые особенности созревания и шкала зрелости половых желез осетра. Осетровые Южных морей Советского Союза // Труды ВНИРО. 1964. Т. 56. Сб. 3. С. 69–78. [Trusov VZ. Nekotorye osobennosti sozrevaniya i shkala zrelosti polovykh zhelez osetra. Osetrovye Yuzhnykh morey Sovetskogo Soyuz. Trudy VNIRO. 1964;56(3):69–78. (In Russ.)].
6. Фенотипические показатели сибирского осетра, разводимого в условиях замкнутого водоснабжения: св-во о государственной регистрации базы данных № 2024620556 Рос. Федерация / Н.А. Зиновьева, и др. Заявл. 25.01.2024; опубли. 05.02.2024, Бюл. № 2. [Zinovieva NA, et al. Fenotipicheskie pokazateli sibirskogo osetra, razvodimogo v usloviyakh zamknutogo vodosnabzheniya: sv-vo

о gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2024620556 Ros. Federaciya. Zayavl. 25.01.2024; opubl. 05.02.2024, Byul. № 2. (In Russ.).

7. Хатунцов Д.С., Ларкин А.Д. Аквакультура как наиболее эффективное средство восстановления популяции осетровых // Дельта науки. 2019. № 2. С. 135-139. [Khatuntsov DS, Larkin AD. Akvakul'tura kak naibolee effektivnoe sredstvo vosstanovleniya populyatsii osetrovykh. Del'ta nauki. 2019;2:135-139. (In Russ.).]

8. Чебанов М.С., Галич Е.В. Оптимизация формирования и использования маточных стад осетровых рыб: новые возможности ультразвукового скрининга // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Азовского НИИ рыбного хозяйства (Ростов-на-Дону, 11-12 дек. 2018 г.). Ростов-на-Дону: Азовский НИИ рыбного хозяйства, 2018. С. 84-88. [Chebanov MS, Galich EV. Optimization of the formation and use of sturgeon broodstocks: new prospects for ultrasonic screening. (Conference proceedings) Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Azovskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva (Rostov-na-Donu, 11-12 dekabrya 2018 goda). Rostov-na-Donu: Azovskiy nauchno-issledovatel'skiy institut rybnogo khozyaystva; 2018:84-88. (In Russ.).]

9. Ak K, Kurtoglu IZ, Serezli R, Kayış S, Yandı I. Introduce the Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*) to Turkish aquaculture industry: Duoculture possibility with Rainbow Trout. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2019; 36(3):211-217. doi: 10.12714/egejfas.2019.36.3.02

10. Belous AA, Otradnov PI, Nikipelova AK, Bardukov NV, Nikipelov VI, Shishanov GA, Rakova AS, Ilyushina PS, Gusev IV, Zinovieva NA. Growth and Development Dynamic of the Lena Population Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) Bred in a Recirculating Aquaculture System. Animals. 2026; 16(4):677. doi: 10.3390/ani16040677

11. Bronzi P, Chebanov M, Michaels J, Wei Q, Rosenthal H, Gessner J. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. Journal of Applied Ichthyology. 2019;35(1):257-266. doi: 10.1111/jai.13870

12. Chandra G, Fopp-Bayat D. Trends in aquaculture and conservation of sturgeons: a review of molecular and cytogenetic tools. Reviews in Aquaculture. 2021;13(1):119-137. doi: 10.1111/raq.12466

13. Curzon AY, Shirak A, Meerson A, Degani G, Hurvitz A, Ben-Naim N, Domovitz R, Ron M, Seroussi E. Cross-species conservation of a transposase-linked element enables genetic sexing of commercial populations of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). Animal Genetics. 2022;53(3):441-446. doi: 10.1111/age.13188

14. Golpour A, Broquard C, Milla S, Dadras H, Baloch AR, Saito T, Pšenička M. Determination of annual reproductive cycle in male sterlet, *Acipenser ruthenus* using histology and ultrasound imaging. Fish Physiology and Biochemistry. 2021;47(3):703-711. doi: 10.1007/s10695-020-00892-8

15. He S, Du H, Ren P, Leng XQ, Tan Q, Li CJ, Liang XF, Wei Q. Transcriptome analysis of ovarian maturation in a chondrostei Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution. 2020;334(5):280-293. doi: 10.1002/jez.b.22973

16. Kazemi R, Yarmohammadi M, Hallajian A, Jalilpour J, Parashkoh H. Determination of sex and maturity stage of great sturgeon (*Huso huso*) using steroid sex hormones profiles, histology and laparoscopic images of gonads. Journal of Applied Ichthyology. 2019;35(5):1084-1093. doi: 10.1111/jai.13948

17. Keyvanshokoh S, Gharai A. A review of sex determination and searches for sex-specific markers in sturgeon. Aquaculture Research. 2010;41(9):e1-e7. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02463.x

18. Kuhl H, Guiguen Y, Hohne C, Kreuz E, Du K, Klopp C, Lopez-Roques C, Yebra-Pimentel ES, Ciorpac M, Gessner J, Holostenco D, Kleiner W, Kohlmann K, Lamatsch DK, Prokopov D, Bestin A, Bonpant E, Debeuf B, Haffray P, Morvezen R, Patrice P, Suci R, Dirks R, Wuertz S, Kloas W, Scharl M, Stöck M. A 180 Myr-old female-specific genome region in sturgeon reveals the oldest known vertebrate sex determining system with undifferentiated sex chromosomes. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2021;376(1832):20200089. doi: 10.1098/rstb.2020.0089

19. Maskill P, Crossman J, Webb M, Marrello M, Guy C. Accuracy of histology, endoscopy, ultrasonography, and plasma sex steroids in describing the population reproductive structure of hatchery-origin and wild white sturgeon. *Journal of Applied Ichthyology*. 2021;38(1):3-16. doi: 10.1111/jai.14280
20. Oskina AA, Aitkalieva AA, Gabdullina AT, et al. Application of the ultrasound scanning method in sturgeon breeding. *Science and Education*. 2022;3-2(68):172-177. doi: 10.56339/2305-9397-2022-3-2-172-177
21. Panagiotopoulou H, et al. Extensive search of genetic sex markers in Siberian (*Acipenser baerii*) and Atlantic (*A. oxyrinchus*) sturgeons. *Aquaculture*. 2023;573:739517. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739517
22. Pueppke SG, Nurtazin S, Murzashev T, Galymzhanov I, Graham N, Konysbaev T. Re-establishing naturally reproducing sturgeon populations in the caspian basin: a wicked problem in the Ural River. *Water*. 2023;15(19):3399. doi: 10.3390/w15193399
23. Sard NM, Kreiser BR, Pendleton RM, et al. Validation of a molecular sex marker in three sturgeons from eastern North America. *Conservation Genetics Resources*. 2024;16:173-177. doi: 10.1007/s12686-024-01346-6
24. Scribner KT, Kanefsky J. Molecular sexing of lake sturgeon. *Journal of Great Lakes Research*. 2021;47(3):934-936. doi: 10.1016/j.jglr.2021.03.015
25. Tavakoli S, Luo Y, Regenstein JM, Daneshvar E, Bhatnagar A, Tan Y, Hong H. Sturgeon, caviar, and caviar substitutes: from production, gastronomy, nutrition, and quality change to trade and commercial mimicry. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2021;29(4):753-768. doi: 10.1080/23308249.2021.1873244
26. Vasilyeva LM, Elhetawy AIG, Sudakova NV, Astafyeva SS. History, current status and prospects of sturgeon aquaculture in Russia. *Aquaculture Research*. 2019;50(4):979-993. doi: 10.1111/are.13997
27. Vizziano-Cantonnet D, Di Landro S, Lasalle A. Sex determination and differentiation of the Siberian Sturgeon. In: Williot P, Nonnotte G, Vizziano-Cantonnet D, Chebanov M, editors. *The Siberian Sturgeon (Acipenser baerii, Brandt, 1869) Volume 1 - Biology*. Cham: Springer; 2018:93-113. doi: 10.1007/978-3-319-61664-3_6
28. Wuertz S, Gaillard S, Barbisan F, Carle S, Congiu L, Forlani A, Aubert J, Kirschbaum F, Tosi E, Zane L, Grillasca J-P. Extensive screening of sturgeon genomes by random screening techniques revealed no sex-specific marker. *Aquaculture*. 2006;258(1-4):685-688.

References

1. Barulin NV, Bogdanov RE. Estimation of possibility of determination of readiness of paddlefish females to spawning with the help of ultrasonic diagnostics. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2021;1(40):33-39.
2. Krylov VD, Sokolov LI. The methodology of morphometric studies of sturgeon fish. Moscow: Russian Federal Research Institute Of Fisheries and Oceanography; 1981:76 p.
3. Bardukov NV, Nikipelova AK, Otradnov PI, Nikipelov VI, Belous AA. Determining the reliability of the origin of Siberian sturgeon based on the results of microsatellite analysis and genetic similarity coefficients. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):106-119. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-106
4. Otradnov PI, Nikipelov VI, Nikipelova AK, Boborykin AYU, Belous AA. Breeding assessment of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) based on the system of genetic certification. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(3):149-168. doi: 10.33284/2658-3135-108-3-149
5. Trusov VZ. Some features of the maturation and maturity scale of the sturgeon sex glands. *Sturgeon of the South Seas of the Soviet Union. Trudy VNIRO*. 1964;56(3):69-78.

6. Zinovieva NA, et al. Phenotypic indicators of Siberian sturgeon bred in closed water supply conditions: certificate of state registration of the Russian Federation database No. 2024620556. Application 25.01.2024; Published 05.02.2024, Bulletin No. 2.
7. Khatuntsov DS, Larkin AD. Aquaculture as the most effective means of restoring the sturgeon population. *Delta of Science*. 2019;2:135-139.
8. Chebanov MS, Galich EV. Optimization of the formation and use of sturgeon broodstocks: new prospects for ultrasonic screening. (Conference proceedings) Current issues of fisheries, fish farming (aquaculture) and ecological monitoring of aquatic ecosystems: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, dedicated to The 90th anniversary of the Azov Research Institute of Fisheries (Rostov-on-Don, 11-12 Dec. 2018). Rostov-on-Don: Azov Research Institute of Fisheries; 2018:84-88.
9. Ak K, Kurtoglu IZ, Serezli R, Kayış S, Yandı I. Introduce the Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*) to Turkish aquaculture industry: Duoculture possibility with Rainbow Trout. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2019; 36(3):211-217. doi: 10.12714/egejfas.2019.36.3.02
10. Belous AA, Otradnov PI, Nikipelova AK, Bardukov NV, Nikiplov VI, Shishanov GA, Rakova AS, Ilyushina PS, Gusev IV, Zinovieva NA. Growth and Development Dynamic of the Lena Population Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) Bred in a Recirculating Aquaculture System. *Animals*. 2026; 16(4):677. doi: 10.3390/ani16040677
11. Bronzi P, Chebanov M, Michaels J, Wei Q, Rosenthal H, Gessner J. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *Journal of Applied Ichthyology*. 2019;35(1):257-266. doi: 10.1111/jai.13870
12. Chandra G, Fopp-Bayat D. Trends in aquaculture and conservation of sturgeons: a review of molecular and cytogenetic tools. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(1):119-137. doi: 10.1111/raq.12466
13. Curzon AY, Shirak A, Meerson A, Degani G, Hurvitz A, Ben-Naim N, Domovitz R, Ron M, Seroussi E. Cross-species conservation of a transposase-linked element enables genetic sexing of commercial populations of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *Animal Genetics*. 2022;53(3):441-446. doi: 10.1111/age.13188
14. Golpour A, Broquard C, Milla S, Dadras H, Baloch AR, Saito T, Pšenička M. Determination of annual reproductive cycle in male sterlet, *Acipenser ruthenus* using histology and ultrasound imaging. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021;47(3):703-711. doi: 10.1007/s10695-020-00892-8
15. He S, Du H, Ren P, Leng XQ, Tan Q, Li CJ, Liang XF, Wei Q. Transcriptome analysis of ovarian maturation in a chondrostei Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*. 2020;334(5):280-293. doi: 10.1002/jez.b.22973
16. Kazemi R, Yarmohammadi M, Hallajian A, Jalilpour J, Parashkoh H. Determination of sex and maturity stage of great sturgeon (*Huso huso*) using steroid sex hormones profiles, histology and laparoscopic images of gonads. *Journal of Applied Ichthyology*. 2019;35(5):1084-1093. doi: 10.1111/jai.13948
17. Keyvanshokoh S, Gharai A. A review of sex determination and searches for sex-specific markers in sturgeon. *Aquaculture Research*. 2010;41(9):e1-e7. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02463.x
18. Kuhl H, Guiguen Y, Hohne C, Kreuz E, Du K, Klopp C, Lopez-Roques C, Yebra-Pimentel ES, Ciorpac M, Gessner J, Holostenco D, Kleiner W, Kohlmann K, Lamatsch DK, Prokopov D, Bestin A, Bonpunt E, Debeuf B, Haffray P, Morvezen R, Patrice P, Suci R, Dirks R, Wuertz S, Kloas W, Schartl M, Stöck M. A 180 Myr-old female-specific genome region in sturgeon reveals the oldest known vertebrate sex determining system with undifferentiated sex chromosomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2021;376(1832):20200089. doi: 10.1098/rstb.2020.0089
19. Maskill P, Crossman J, Webb M, Marrello M, Guy C. Accuracy of histology, endoscopy, ultrasonography, and plasma sex steroids in describing the population reproductive structure of hatchery-origin and wild white sturgeon. *Journal of Applied Ichthyology*. 2021;38(1):3-16. doi: 10.1111/jai.14280
20. Oskina AA, Aitkaliyeva AA, Gabdullina AT, et al. Application of the ultrasound scanning method in sturgeon breeding. *Science and Education*. 2022;3-2(68):172-177. doi: 10.56339/2305-9397-2022-3-2-172-177
21. Panagiotopoulou H, et al. Extensive search of genetic sex markers in Siberian (*Acipenser baerii*) and Atlantic (*A. oxyrinchus*) sturgeons. *Aquaculture*. 2023;573:739517. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739517

22. Pueppke SG, Nurtazin S, Murzashev T, Galymzhanov I, Graham N, Konysbaev T. Re-establishing naturally reproducing sturgeon populations in the caspian basin: a wicked problem in the Ural River. *Water*. 2023;15(19):3399. doi: 10.3390/w15193399
23. Sard NM, Kreiser BR, Pendleton RM, et al. Validation of a molecular sex marker in three sturgeons from eastern North America. *Conservation Genetics Resources*. 2024;16:173-177. doi: 10.1007/s12686-024-01346-6
24. Scribner KT, Kanefsky J. Molecular sexing of lake sturgeon. *Journal of Great Lakes Research*. 2021;47(3):934-936. doi: 10.1016/j.jglr.2021.03.015
25. Tavakoli S, Luo Y, Regenstein JM, Daneshvar E, Bhatnagar A, Tan Y, Hong H. Sturgeon, caviar, and caviar substitutes: from production, gastronomy, nutrition, and quality change to trade and commercial mimicry. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2021;29(4):753-768. doi: 10.1080/23308249.2021.1873244
26. Vasilyeva LM, Elhetawy AIG, Sudakova NV, Astafyeva SS. History, current status and prospects of sturgeon aquaculture in Russia. *Aquaculture Research*. 2019;50(4):979-993. doi: 10.1111/are.13997
27. Vizziano-Cantonnet D, Di Landro S, Lasalle A. Sex determination and differentiation of the Siberian Sturgeon. In: Williot P, Nonnotte G, Vizziano-Cantonnet D, Chebanov M, editors. *The Siberian Sturgeon (Acipenser baerii, Brandt, 1869) Volume 1 - Biology*. Cham: Springer; 2018:93-113. doi: 10.1007/978-3-319-61664-3_6
28. Wuertz S, Gaillard S, Barbisan F, Carle S, Congiu L, Forlani A, Aubert J, Kirschbaum F, Tosi E, Zane L, Grillasca J-P. Extensive screening of sturgeon genomes by random screening techniques revealed no sex-specific marker. *Aquaculture*. 2006;258(1-4):685-688.

Информация об авторах:

Николай Владимирович Бардуков, научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +79854344920.

Владислав Игоревич Никипелов, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +79270752759.

Петр Ильич Отрадный, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +79296131475.

Амина Кумаровна Никипелова, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +79275708398.

Information about the authors:

Nikolay V Bardukov, Researcher at the Laboratory of Genetic Technologies in Agro- and Aquaculture, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, Russia, tel.: +7 985 434-49-20.

Vladislav I Nikipelov, Junior Researcher at the Laboratory of Genetic Technologies in Agro- and Aquaculture, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, Russia, tel.: +79270752759.

Petr I Otradnov, Junior Researcher at the Laboratory of Genetic Technologies in Agro- and Aquaculture, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, Russia, tel.: +79296131475.

Amina K Nikipelova, Junior Researcher at the Laboratory of Genetic Technologies in Agro- and Aquaculture, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, Russia, tel.: +79275708398.

Статья поступила в редакцию 20.04.2026; одобрена после рецензирования 23.06.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 20.04.2026; approved after reviewing 23.06.2026; accepted for publication 14.09.2026.