

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО ЖИВОТНОВОДСТВУ»**

**УДК 639.3.034:535.21**

**БАРУЛИН  
НИКОЛАЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОСАДОЧНОГО  
МАТЕРИАЛА ЛОСОСЕВЫХ И ОСЕТРОВЫХ РЫБ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации  
на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук  
по специальности 06.04.01 – рыбное хозяйство и аквакультура

**Жодино, 2022**

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»

### **Научный**

**консультант:** **Шалак Михаил Владимирович,**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

### **Официальные**

**оппоненты:** **Агеец Владимир Юльянович,**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, РДУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»;

**Таразевич Елена Васильевна,**

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», кафедра технологии и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции;

**Семенченко Виталий Павлович,**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий лабораторией, ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», лаборатория гидробиологии.

### **Оппонирующая**

**организация:** УО «Гродненский государственный аграрный университет».

Защита состоится «18» августа 2022 года в 10 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.49.01 при РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» по адресу: 222163, Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино, ул. Фрунзе, 11, тел. (01775) 2- 27-99, факс (01775) 3-52-83, e-mail: belniig@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству».

Автореферат разослан «12» июля 2022 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций \_\_\_\_\_ А.А. Музыка

## ВВЕДЕНИЕ

Пандемия COVID-19 резко обострила проблему голода на планете, которая и ранее была острой из-за увеличения роста численности людей, глобальных катаклизмов и войн. По данным ФАО (2020 г.), если не предпринять значительных усилий по борьбе с голодом, к 2030 г. численность голодающих на планете может приблизиться к 1 млрд. человек. Данная ситуация является новым вызовом для сельского хозяйства, которое призвано обеспечивать население продуктами питания. Известно, что одним из источников ценной белковой продукции является рыба. Однако, изменение климата, увеличение интенсивности промышленного вылова рыбы и ряд других факторов способствуют сокращению объемов добычи рыболовства в морях и океанах. В ближайшем будущем основным источником рыбопродукции станет аквакультура (P. Bronzi, H. Rosenthal, 2016; Torno, J., 2018; В.Ю. Агеец и др., 2019, L.M. Vasilyeva et al., 2018).

Аквакультура стала неотъемлемой частью современной рыбохозяйственной деятельности в ответ на снижение вылова рыбы в рыболовных угодьях, как в планетарном, так и в республиканском масштабах. В силу отсутствия выхода Беларуси к морю, наша страна нуждается в развитии собственной аквакультуры (А.И. Козлов, Т.В. Козлова и др., 2019).

Осетровые и лососевые рыбы, благодаря своим питательным свойствам являются представителями ценных видов рыб, которые характеризуются экспортным потенциалом, но в тоже время предъявляют самые высокие требования, к условиям выращивания (Е.В. Таразевич и др., 2019; И.И. Грициняк и др., 2018). Кроме того, осетровые и лососевые рыбы включены в список исчезающих видов во многих странах мира, в том числе и в Беларуси. Поэтому разработка новых приемов и способов повышения эффективности их воспроизводства является необходимым фактором для сохранения биоразнообразия животного мира.

Технология эффективного производства товарной рыбы нуждается в бесперебойной поставке высококачественного посадочного материала, производство которого основывается на искусственном воспроизводстве – сложном технологическом процессе, включающим этапы формирования ремонтно-маточного стада, искусственного получения эмбрионов от племенных рыб, с дальнейшим выращиванием посадочного материала.

Искусственное воспроизводство рыб в индустриальных (высокоинтенсивных) условиях характеризуется пониженной выживаемостью и жизнестойкостью посадочного материала, а также снижением и нарушением репродуктивной функции племенных рыб, вызванных технологически вынужденными высокими плотностями посадки, сокращением использования свежей воды, высокими концентрациями азотных веществ, искусственным кормлением комбикормами и др.

Нарушения репродуктивной функции у племенных рыб в основном являются необратимыми, лечение которых невозможно или неэффективно. В этой связи экономически оправданным является ранняя диагностика репродуктивной функции рыб современными методами, с последующей выбраковкой потенциально инфертильных рыб, а также раннее определение пола с целью выявления и сокращения числа самцов.

Проблема снижения выживаемости и жизнестойкости посадочного материала нуждается в применении более эффективных, низкочатратных технологических методов коррекции физиологического состояния, одним из которых является фотомодуляция – метод регулирования активности клеток организма с использованием источников света без теплового эффекта, который получил широкое распространение в медицине и является высокоперспективным методом для сельского хозяйства, в т.ч. для рыбного хозяйства и аквакультуры.

В этой связи особую актуальность приобретают исследования по повышению эффективности технологии производства посадочного материала лососевых и осетровых видов рыб в условиях рыбоводных индустриальных комплексов.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Тема диссертационной работы соответствовала приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований на 2006–2010 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512): пункт 5.8, п. 7.1; направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585): п. 0601, п. 0606; соответствовала приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190): п. 00006 – «Электроника и фотоника»; п. 00009 – «Агропромышленный комплекс и продовольственная безопасность».

Выполненные исследования являются составной частью Государственных программ, фондов, проектов и научно-исследовательских работ: Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) (номер проекта Б11-058; 2011–2013 гг.), тема «Гепатоспецифические механизмы регулирования воспроизводительной функции осетровых рыб в условиях икорно-товарной аквакультуры» (номер госрегистрации 20114501); БРФФИ (номер проекта Б12М-148; 2012–2014) – «Формирование репродуктивной системы осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения» (номер госрегистрации 20122403); БРФФИ (номер проекта Б14М-101; 2014–2016) – «Разработка методов повышения воспроизводительной функции ценных и редких видов рыб на основе комплекса биохимиче-

ских, ультразвуковых и лазерно-оптических подходов» (номер госрегистрации 20143709); БРФФИ (номер проекта Б18-148; 2018–2020) – «Гендерные и возрастные классификационные модели и закономерности в строении кориума стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758)» (номер госрегистрации 20181496); Республиканский централизованный инновационный фонд (РЦИФ) (номер проекта 297; 2013–2014) – «Разработка и внедрение новых приборов для повышения эффективности воспроизводства и выращивания ценных видов рыб в условиях рыбоводных индустриальных комплексов на основе лазерно-оптических технологий» (номер госрегистрации 20131832); РЦИФ (номер проекта 337; 2014) – «Разработка официальных рыбоводно-биологических норм и технологической документации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в условиях рыбоводных индустриальных комплексов Беларуси» (номер госрегистрации 20150265); РЦИФ (номер проекта 375; 2015) – «Разработка рыбоводно-технологической документации формирования ремонтно-маточных стад для икорного осетроводства с применением инновационных методов» (номер госрегистрации 20160330); РЦИФ (номер проекта 484 / 2018; 2018–2020) – «Создание учебно-практического тренажера по аквакультуре» (номер госрегистрации 20181111); Программа региона Балтийского моря 2007–2013 (Baltic Sea Region Programme 2007–2013) при частичном финансировании Европейским союзом, проект международной технической помощи «Инновационные методы и технологии устойчивого развития аквакультуры в регионе Балтийского моря» (AQUABEST – Innovative practices and technologies for developing sustainable aquaculture in the Baltic Sea region), номер проекта 071, 2012–2014 (номер регистрации в Минэкономике РБ 2/12/000563); хоздоговорные тематики между УО БГСХА и рыбоводными организациями Беларуси и России (договоры номер 74, 212, 388, 480, 481, 506; 2010–2019).

**Цель и задачи исследований.** Цель диссертационной работы заключалась в разработке новых, научно обоснованных технологических способов производства посадочного материала лососевых и осетровых рыб в индустриальных комплексах.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработать новый малозатратный способ ранней диагностики пола ценных видов рыб для отбора в ремонтно-маточное стадо;
- разработать новую технологию формирования маточных стад ценных видов рыб с использованием современных биохимических, иммунологических и ультразвуковых методов оценки потенциальной фертильности;
- разработать комплекс способов повышения репродуктивных качеств племенного стада ценных видов рыб и их половых продуктов;

– разработать комплекс способов и усовершенствовать инкубационные установки для повышения рыбоводно-биологических и хозяйственно-полезных качеств рыбопосадочного материала ценных видов рыб;

– разработать организационно-технологическую модель развития искусственного воспроизводства рыбы и рыбоводных индустриальных комплексов для повышения эффективности технологии производства посадочного материала ценных видов рыб в Беларуси.

#### **Научная новизна:**

– установлены закономерности в экстерьерном строении производных кориума осетровых рыб и получены на их основе принципиально новые научные результаты, позволившие создать методологические основы для разработки нового способа ранней диагностики пола представителей семейства осетровых для племенной работы;

– впервые в Беларуси составлен атлас эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси, для оценки их племенных качеств с подробным описанием стадии развития гонад. Проведена диагностика физиологического состояния некоторых внутренних органов у ремонтно-маточного и племенного стада осетровых рыб, выращиваемых в аквакультуре. Составлен гормональный и биохимический репродуктивный профиль осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре, а также обнаружена зависимость племенных качеств осетровых от изменения концентрации гормонов, активности гепатоспецифических ферментов, метаболитов белкового и минерального обмена. Научно обосновано использование установок замкнутого водоснабжения датского канального типа в качестве основного технологического элемента рыбоводных индустриальных комплексов для выращивания и разведения ценных видов рыб;

– разработаны новые способы: увеличения размерно-весовых показателей рыбопосадочного материала осетровых рыб за счет использования светодиодного излучения; повышения племенных качеств производителей осетровых рыб за счет использования низкоинтенсивного оптического излучения;

– впервые на базе оптических фильтров и матриц различных источников оптического излучения низкой интенсивности созданы установки для инкубации икры (эмбрионов) рыб, используемые в технологии искусственного воспроизводства, позволяющие оказывать стимулирующее воздействие на хозяйственно-полезные качества рыбопосадочного материала.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Новый способ ранней диагностики пола семейства осетровых рыб, заключающийся в определении строения костных пластин и, бальной оценке согласно разработанной шкале и / или алгоритмов для систем машинного зрения, позволяющий увеличить точность раннего определения пола до 97,06 % и получить

экономический эффект 12,36 руб. в расчете на 1 экз. (в ценах на 15.04.2020 г.) при формировании ремонтно-маточного стада.

2. Новая технология формирования маточных стад ценных видов рыб, заключающаяся в отборе рыб на основании биохимической, иммунологической и ультразвуковой оценки потенциальной фертильности, отличающаяся ранней (в 2,0 раза раньше аналогов) диагностикой потенциально инфертильных рыб и ранним (в 2-2,5 раза) выявлением рыб с потенциальным половым созреванием и высокой продуктивностью, что позволяет повысить экономический эффект от формирования маточного стада в среднем на 238,81 руб. в расчете на 1 экз. (в ценах на 15.04.2020 г.).

3. Новый способ повышения воспроизводительных качеств маточного стада ценных видов рыб, на основе использования оптического излучения низкой интенсивности, отличающийся воздействием в преднерестовом периоде лазерного излучения с длиной волны  $670 \pm 20$  нм при плотности мощности излучения  $40-50$  мВт/см<sup>2</sup> с общей экспозицией по 8-10 минут ежедневно, в течение 5 дней на 4-5 точек жаберных лепестков производителей, позволяющий повысить ответ на гормональное стимулирование на 30-50 %, объем эякулята – в 1,75 раза, время подвижности сперматозоидов – на 38,46 %, процент оплодотворения икры – на 4,8-5,5 %, выживаемость предличинок при выклеве – на 4,9-13,1 %, выживаемость личинок при переходе на активное питание – на 11,7-14,5 %, что позволяет получить экономический эффект 130,43 руб. в расчете на 100 000 экз. личинок (в ценах на 15.04.2020 г.).

4. Комплекс новых способов повышения качественных показателей спермы самцов маточного стада ценных видов рыб, включающих использование оптического излучения низкой интенсивности, отличающихся воздействием на сперму поляризованным излучением с длиной волны 450-1270 нм, непрерывным или модулированным по интенсивности режимами, в сочетании с магнитным полем ( $50 \pm 5$  мТл) или без него, при плотности мощности  $0,5-100$  мВт/см<sup>2</sup> в течении времени, обеспечивающим энергетическую дозу  $60-180$  мДж/см<sup>2</sup>, способствующих повышению времени подвижности сперматозоидов до 145 %, процента оплодотворения икры до 18 %, позволяющих получить экономический эффект 343,48 руб. на 100 000 шт. личинок рыб (в ценах на 15.04.2020 года).

5. Комплекс новых способов повышения рыбоводно-биологических и хозяйственно-полезных качеств молоди, за счет использования оптического излучения низкой интенсивности, отличающихся воздействием на эмбрионы рыб лазерным и поляризованным светодиодным излучением с длиной волны 450-850 нм, непрерывным и импульсным по интенсивности режимами, при средней плотности мощности  $2,9 \pm 0,2$  мВт/см<sup>2</sup>, оказывающих положительное влияние на повышение выживаемости до 19,6 %, размерно-весовых показателей до 55 %, снижение ано-

малый в развитии до 12 % и обеспечивающих получение экономического эффекта 279,98 руб. на 100 000 шт. личинок рыб (в ценах на 15.04.2020 года).

6. Рыбоводно-технологическое обоснование повышения выживаемости эмбрионов ценных видов рыб (до 16,4 %) и размерно-весовых показателей молоди (до 38,7 %) на основе совершенствования установок для инкубации икры, отличающееся применением светодиодных источников оптического излучения и видоспецифическими режимами дозирования, позволяющее получить экономический эффект 341,45 руб. на 100 000 шт. личинок рыб (в ценах на 15.04.2020 года).

7. Организационно-технологическая модель развития искусственного воспроизводства рыбы и рыбоводных промышленных комплексов для повышения эффективности технологии производства посадочного материала ценных видов рыб в Беларуси.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационная работа выполнена лично автором и является результатом законченных научных исследований по научно-практическому обоснованию разработки новых технологических способов производства посадочного материала лососевых и осетровых рыб. Личный вклад автора состоял в выборе и обосновании направления исследований, разработке программ и методик, организации и проведении опытов; регистрации и сборе всех результатов исследований, их биометрической обработке, анализе и публикации полученных результатов. Научный консультант Шалак М. В. оказывал консультационную помощь в выборе основных направлений исследований, обсуждении полученных результатов и в их обобщении. Основной соавтор научных работ Плавский В. Ю. оказывал консультационную помощь при планировании экспериментов в области использования низкоинтенсивного оптического излучения, организации части лабораторных исследований, обсуждении и интерпретации полученных результатов, а также совместной подготовке проектов рукописей статей. Вклад других соавторов в совместные публикации заключался в предоставлении своей части исследований, как составной части публикации и / или обсуждении результатов исследований.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты исследований были доложены и обсуждены на: Молодежном инновационном форуме «ИНТРИ» – 2010» (Минск, 2010); XIX Belarussian – Lithuanian seminar «Lasers and optical nonlinearity» (Minsk, 2011); 6<sup>th</sup> World Fisheries Congress (Edinburgh, 2012); 14<sup>th</sup> Congress of the International Society for Behavioral Ecology (Lund, 2012); International conference «AQUA 2012» (Prague, 2012); 10<sup>th</sup> International Congress on the Biology of Fish (Madison, Wisconsin, 2012); Annual meeting of the European Aquaculture Society «Aquaculture Europe 2013» (Trondheim, 2013); 2-й Международной научной конференции «Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб» (Санкт-Петербург, 2013); Second run of the scientific workshop «Diversification in Inland Finfish Aquaculture» (Vodňany, 2013); заседаниях секции



научно-технического совета животноводства и ветеринарии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (08.11.2013 г., 17.06.2014 г., 10.10.2014 г., 15.12.2014 г., 26.10.2015 г., 28.12.2015 г.); Научно – практической конференции «Осетровые: прошлое, настоящее, будущее» (Trakai, 2014); 14 Česká rybářská a ichtyologická konference (Vodňany, 2014); Actual status and conservation of natural populations of sturgeon fish Acipenseridae (Olsztyn, 2014); 8<sup>th</sup> International Conference on Photonics & Applications (Hanoi, 2014); Eighteenth international school on quantum electronics “Laser physics and applications” (Sozopol, 2014); International sturgeon meeting ISM – 2016 (Krasnodar, 2016); заседаниях секции научно-технического совета животноводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (28.10.2016 г., 09.01.2017 г., 27.09.2018 г.); 2<sup>nd</sup> International Aquaculture Conference «Recirculating Aquaculture System (RAS): Life Science and Technologies» (Daugavpils, 2017); Международной научно-практической конференции «Аквакультура осетровых рыб: проблемы и перспективы» (Астрахань, 2017); 17<sup>th</sup> Congress European Society for Photobiology (Pisa, 2017), а также на других 20 конференциях, симпозиумах и научных собраниях.

Научная разработка «Рыбоводно-биологическое обоснование применения низкоинтенсивного оптического излучения в технологии аквакультуры осетровых рыб» удостоена премии Национальной академии наук Беларуси имени В. Ф. Купревича для молодых ученых (2011 г.).

Результаты научных исследований по обнаружению механизмов взаимодействия оптического излучения с биологическими системами, разработке и внедрению на их основе новых способов и установок эффективного воспроизводства и выращивания ценных видов рыб в условиях аквакультуры поощрены стипендией Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым в 2011 году.

Результаты научных исследований по обнаружению ранее неизвестных закономерностей в строении производных кориума рыб и разработке системы рыбоводно-технологических и физико-биохимических методов регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах поощрены стипендией Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым в 2018 году.

Практическая значимость исследований подтверждена тремя рекомендациями производству.

Результаты исследований прошли производственные испытания и внедрены в условиях рыбоводных организаций России, Латвии, а также Могилевской, Брестской и Минской областей Беларуси (12 актов о практическом использовании результатов исследований, 10 справок о практическом использовании результатов исследований, 1 акт о передаче научно-технической продукции), используются в образовательном процессе по специальности «Промышленное рыбоводство», а

также нашли применение при разработке нормативно-правовых документов («Комплекс мер по развитию рыбоводства в Республике Беларусь на 2020 – 2025 годы»; «Стратегия развития аквакультуры в Республике Беларусь до 2026 года»).

**Опубликованность результатов диссертации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 100 работ, в том числе 2 монографии, 2 главы в коллективных монографиях, 34 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РБ, из которых 12 статей в зарубежных изданиях (в т.ч. 9 статьями в изданиях входящих в базы Scopus и Web of Science с импакт-фактором от 0,56 до 6,25, из которых 2 статьи в изданиях первого квартиля Q1 и 2 статьи в изданиях второго квартиля Q2), а также 22 статьи и 19 тезисов в сборниках и материалах научных конференций (в т.ч. 24 в зарубежных изданиях), 10 работ в других научных изданиях, 3 рекомендации производству (в т.ч. 1 в зарубежном издании) и 7 патентов Республики Беларусь и Российской Федерации.

Общий объем опубликованных материалов составляет 155,2 авторских листов, из которых соискателю принадлежит 124,8.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, включающей шесть глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 401 страница. В состав работы включены 61 таблица, 101 рисунок и 4 приложения общим объемом 79 страниц. Библиографический список, общим объемом 56 страниц, включает 617 наименований литературы, в том числе 298 на иностранных языках и 164 публикаций соискателя.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Аналитический обзор литературы и выбор направления исследований.** Приведен аналитический обзор мирового производства продукции аквакультуры, ее современного состояния и перспективы развития аквакультуры лососевых и осетровых видов рыб в Беларуси. Дана оценка существующей технологии выращивания и обозначены перспективы развития аквакультуры осетровых и лососевых. Описана классификация, а также технологические и технические характеристики интенсивной аквакультуры. Указаны преимущества и недостатки установок замкнутого водоснабжения, их влияние на физиологическое состояние рыб. Проведен анализ проблем, имеющих в искусственном воспроизводстве рыб, описана роль печени в воспроизводстве рыб, проблемы оценки и стимулирования качества спермопродукции рыб, дана оценка современного состояние вопроса по разработке методов раннего определения пола осетровых рыб. Отражены перспективные направления передовых методов и приемов современной аквакультуры осетровых и лососевых видов рыб. Осуществлен аналитический обзор по фотомодуляции и низкоинтенсивному оптическому излучению, в котором описываются

механизмы взаимодействия с биологическими системами, а также обобщены научные исследования по применению данных физических факторов в медицине, ветеринарии, животноводстве и аквакультуре. Отмечается недостаточно глубокое изучение данного вопроса. Представлено обоснование выбора направления исследований и изложена общая концепция работы.

**Материал и методика исследований.** Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства, рыбоводного индустриального комплекса УО БГСХА, а также на базах рыбоводного индустриального комплекса ОАО «Форелевое хозяйство «Лохва» (Могилевская обл.), лаборатории прикладной эндокринологии, ветеринарии и биотехнологии кафедры биотехнологии и ветеринарной медицины, химико-экологической лаборатории (УО БГСХА), ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси» (г. Минск), ООО «ТМ» (г. Минск), Фермерское хозяйство «Василек» (частное предприятие «Акватория», Дзержинский р-н, Минская обл.), ОАО «Рыбхоз «Волма» (Червенский р-н, Минская обл.), ООО «Фирма «Ремона» (г. Могилев), ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» (Березовский р-н, Брестская обл.), ЗАО «Агрокомбинат «Несвижский» (Несвижский р-н, Минская обл.), хозрасчетного участка «Вилейка» РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр по животноводству Национальной академии наук Беларуси» (Вилейский р-н, Минская обл), Датского технического университета (г. Хиртсшальс, Дания), Института водной экологии и рыболовства на внутренних водах (г. Берлин, Германия), АО «Головной институт по проектированию объектов и предприятий рыбного хозяйства» (г. Москва, Россия), SIA "Akva Systems" (г. Краслава, Латвия) в течении 2006–2019 гг. согласно схеме исследований (рисунок 1).

При исследовании влияния оптического излучения на рыбопосадочный материал осетровых рыб основным объектом являлся гибрид С.БС (стерлядь (♀) × бес-тер F<sub>1</sub> (♂)) на различных этапах развития. Для оценки физиологического состояния, интенсивности метаболических реакций и репродуктивного статуса производителей в преднерестовый период проводили морфофизиологические, биохимические, гормональные исследования крови осетровых рыб. Воздействие на эмбрионы рыб осуществляли оптическим излучением низкой интенсивности, которое различалось между собой по спектральному диапазону (длиной волны излучения ( $\lambda$ ), нм) – 420-800 (с максимумами при 453 и 567); 450, 630, 632,8, 850), источнику излучения (сверхяркие светодиоды и лазеры: гелий-неоновый; с диодной накачкой; полупроводниковый), поляризацией (неполяризованное, циркулярно-поляризованное и линейно-поляризованное излучение), длиной когерентности (< 2,5 мкм, 26 мкм, ~ 2000 мкм), длительности импульса ( $\tau$  = 10-500 мс), времени экспозиции (30-600 с) и способом воздействия (односпектральное или комбинированное воздействие). При достижении 50-дневного возраста, проводили гема-

тологические, физиологические, ихтиологические, рыбоводно-биологические исследования и тесты на жизнестойкость.



Рисунок 1 – Общая схема исследований

При исследовании репродуктивной функции ремонтно-маточного стада осетровых рыб в условиях аквакультуры биохимическими, иммунологическими, ультразвуковыми, гистологическими рыбоводно-биологическими методами исследовались кровь, внутренние органы (печень и гонады), половые продукты осетровых рыб различного пола, возраста (молодь, сеголетки, двухлетки, трехлетки, ремонтно-маточное и маточное стадо), вида (стерлядь, ленский осетр, различные гибридные формы, веслонос, белуга) и в различные биологические и технологические циклы (периоды нагула, бонитировки, зимовки, преднерестового выдерживания и нереста).

В сыворотке крови определялась активность аспартатаминотрансферазы (АсАТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), аланинаминотрансферазы (АлАТ),  $\gamma$ -

глутамилтрансферазы (ГГТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), концентрация холестерина, триглицеридов, кальция, общего белка, фосфора, мочевой кислоты с использованием диагностических наборов фирмы Cormay. В сыворотке крови исследовали также следующие гормоны: лютеинизирующий гормон, фолликулостимулирующий гормон, хорионический гонадотропин, прогестерон, эстрадиол, тестостерон, дегидроэпиандростерон (ДЭАС) с помощью «сэндвич»-варианта твердофазного иммуноферментного анализа с использованием диагностических наборов фирмы Хемма-тест. Все исследования проводились при температуре 25 °С. Подробные методики определения указанных параметров изложены в инструкциях к диагностическим наборам.

Для проведения УЗИ-диагностики рыб использовали сканер Mindray DP-6600, который оснащен линейным датчиком с размерами рабочей поверхности 40–60 мм и рабочей частотой 5–10 МГц. Ультразвуковой пучок направлялся к исследуемому органу под углом 90 градусов во фронтальной (продольной) или поперечной плоскостях. При проведении диагностики датчик плотно прижимался к поверхности тела в районе 3–4-й брюшных жучек.

Подвижность сперматозоидов исследовали на тринокулярном (тип Зидентопфа) биологическом микроскопе проходящего света серии ММС-KZ-900 с независимой планахроматической оптической системой на бесконечность  $F = 200$  мм. Для анализа подвижности использовали счетные камеры с фиксированной глубиной марки Leja. Запись подвижности сперматозоидов осуществляли при помощи видеокамеры ММС-31С12-М. Частота кадров в секунду – 12 к/с при разрешении  $2048 \times 1536$ , 60 к/с при  $800 \times 600$ , 95 к/с при  $640 \times 480$ , 135 к/с при  $512 \times 384$ . Для исследований качества спермы использовали автоматизированное программное обеспечение ММС Сперм, которое представляло собой основу для компьютерного спермоанализатора (CASA).

При исследовании влияния оптического излучения на сперму осетровых рыб использовали постоянное магнитное поле (с индукцией  $50 \pm 5$  мТл) и / или низкоинтенсивное оптическое излучение, различающиеся между собой по спектральному диапазону ( $\lambda$ , нм) (420-800 с максимумами при 453 и 567; 450, 532, 632,8, 670, 1270), источнику излучения (сверхяркие светодиоды, лазеры: Nd: YAG, полупроводниковый, гелий-неоновый), поляризацией (неполяризованное и линейно-поляризованное излучение), степенью монохроматичности (монохроматическое, квазимонохроматическое, широкополосное), частоте повторения импульсов (0-1000 Гц), длительности импульса (15 нс, 100 нс, 60 пс), плотностью мощности  $0,5-100$  мВт/см<sup>2</sup>, времени экспозиции (10-300 с).

При исследовании влияния оптического излучения низкой интенсивности на производителей осетровых рыб воздействие осуществляли с помощью терапевтических полупроводниковых лазерных аппаратов «Айболит» ( $\lambda = 670$  нм, площадь светового пятна  $S = 0,2$  см<sup>2</sup>,  $P = 45$  мВт/см<sup>2</sup>) и «Сенс 815» ( $\lambda = 810$  нм, площадь

светового пятна  $S = 0,2 \text{ см}^2$ ,  $P = 125 \text{ мВт/см}^2$ ) на жаберные лепестки производителей в течение 5 минут под каждую жаберную крышку. Курс облучения – 5 дней.

Для проведения исследований по изучению морфологического строения костных пластинок осетровых рыб использовали разновозрастную стерлядь волжской популяции: взрослые особи (возраст 3 года, средняя длина  $61,2 \pm 1,3 \text{ см}$ ); молодь (возраст 1 год, средняя длина  $24,8 \pm 1,5 \text{ см}$ ), малек (возраст 3 месяца, средняя длина  $70,3 \pm 3,6 \text{ мм}$ ). После срезания спинные костные пластинки подвергались варке, чистке, мойке и фотографированию на камеру Canon EOS 500D в режиме макросъемки. Полученные изображения подвергались измерению в программе ImageJ при помощи графического планшета Trust Canvas Widescreen Tablet. В процессе изучения спинных костных пластинок измерялись и рассчитывались морфологические параметры и индексы.

Отбор наиболее значимых морфологических параметров и коэффициентов для идентификации пола осуществлялся при использовании нейронных сетей, метода Random Forrest и алгоритма Boruta. Отобранные параметры были протестированы на наличие мультикорреляционности, а затем были составлены ординационные диаграммы, которые помогали устанавливать линейную отделимость отобранных классов морфологических параметров и коэффициентов. На основании такого анализа были составлены модели, при использовании метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения. На основании полученных результатов, для определения пола стерляди использовали бинарную матрицу, а также метод *binary discriminant analysis* с использованием алгоритма binDA и метод бинарного дерева решений с использованием алгоритма ID3 (Interactive Dichotomizer). Критерием перехода из 1 в 0 в бинарной матрице являлись полученные результаты при использовании метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения.

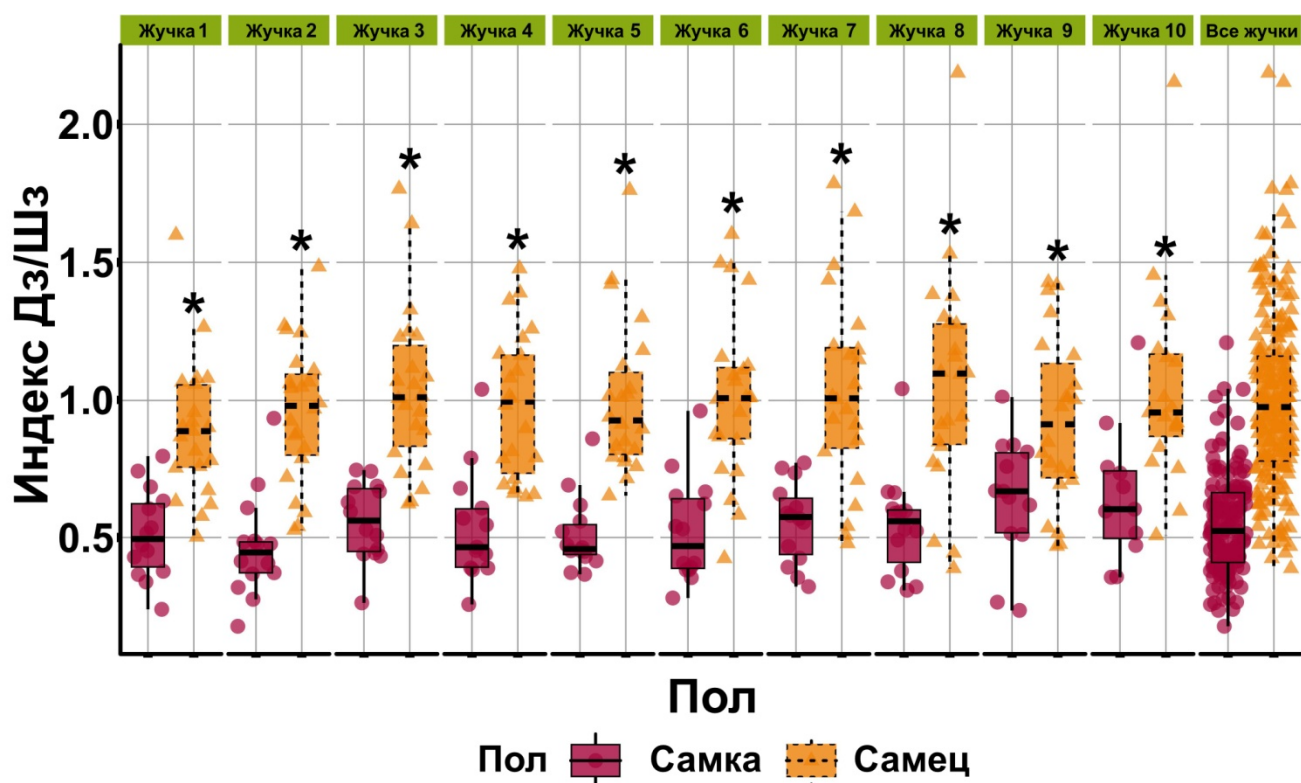
Для статистической обработки использовали компьютерные статистические пакеты STATISTICA, BioStat, OriginPro, Stat Plus, а также программную среду R, включая пакеты R Commander, PMCMR, MASS, corrplot, randomForest, randomForestExplainer, ggplot2, circlize, reshape2, caret, vegan, rpart.plot, party, Boruta, neuralnet, а также программную среду Circos. Программная среда R представляет собой свободную программную среду вычислений с открытым кодом, распространяемая бесплатно по типу лицензии GNU GPL 2. Для определения уровня статистической достоверности использовали параметрические тесты: тест Стьюдента (только для двух исследуемых групп) и тест Тьюки (для трех и более исследуемых групп). Параметрические тесты использовали при условии соблюдения нормальности распределения данных (квантильный график, тест Шапиро-Уилка) и однородности групповых дисперсий (тест Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрические тесты: U-критерий Манна – Уитни (для двух исследуемых групп) и тест Ньюмена (для трех и более исследуемых групп).

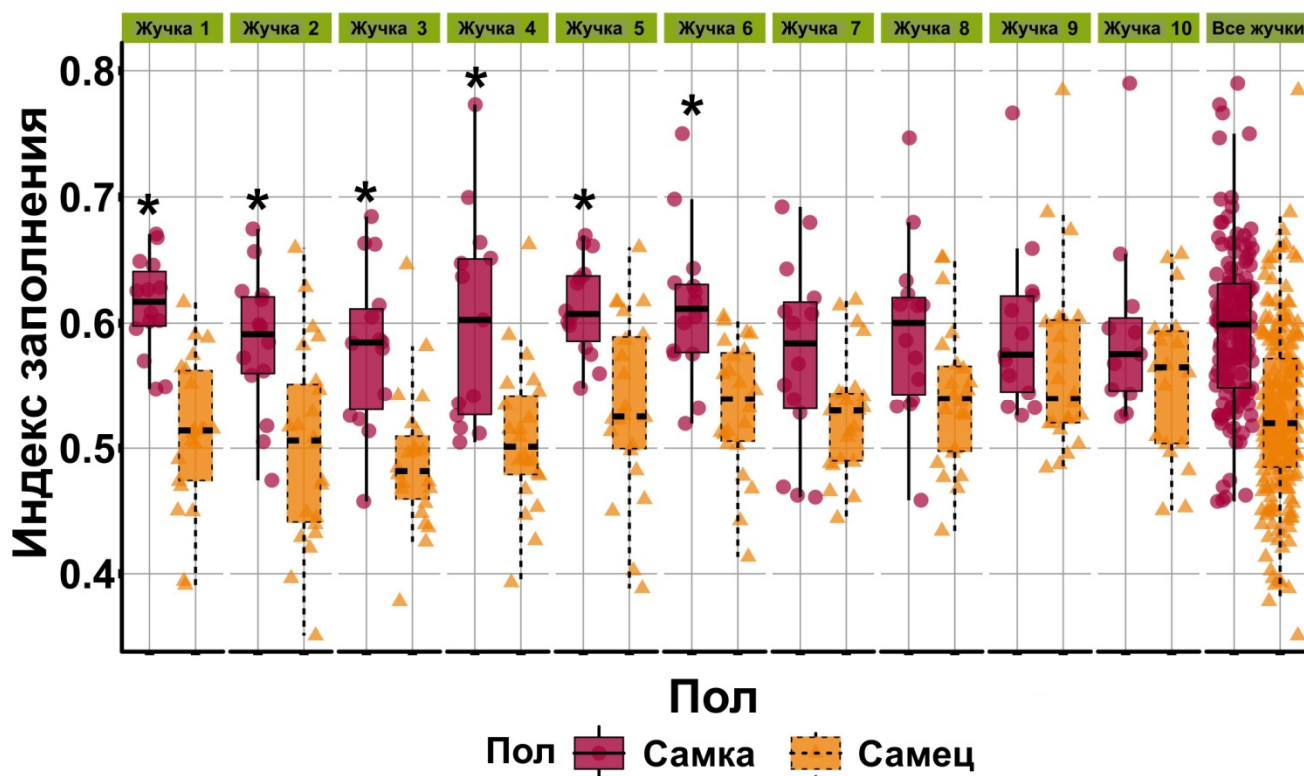
дваемых групп). Для выявления наличия линейной зависимости между несколькими предикторами (переменными) использовали метод мультиколлинеарности, который заключался в построении и анализе корреляционной матрицы. Для оценки качественных признаков использовали критерий  $\chi^2$  («хи-квадрат»).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Повышение эффективности технологии формирования ремонтно-маточных и племенных стад ценных видов рыб

**Разработка нового способа ранней диагностики пола рыб.** Впервые установлена экстерьерная зависимость в морфологических параметрах и индексах между первыми пятью жучками (производными кориума) самцов и самок взрослой стерляди, а также у молоди и мальков. Увеличение значений площади жучки, ширины зубца жучки, длины лопасти, индекса заполнения, индекса Дл/Д (среднее отношение длины левой и правой лопасти спинной костной пластинки к ее общей длине) и уменьшение значений длины зубца жучки, индекса Ш/Д (отношение ширины спинной костной пластинки к ее длине), количества зубцов, индекса Дз/Ш (отношение длины максимального зубца к ширине спинной костной пластинки), индекса Дз/Шз (отношение длины максимального зубца к ширине основания максимального зубца) повышало вероятность идентификации самок (рисунок 2).





б

а - индекс Дз/Шз; б - индекс заполнения

**Рисунок 2 – Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения значений морфологических индексов спинных костных жучек взрослой стерляди в зависимости от пола и номера жучки**

Установлено, что различия между морфологическими параметрами и индексами самцов и самок жучек стерляди доходили до 105,4 % ( $P < 0,05$ ) для взрослых, 200,0 % ( $P < 0,05$ ) для молоди и 151,5 % ( $P < 0,05$ ) для мальков.

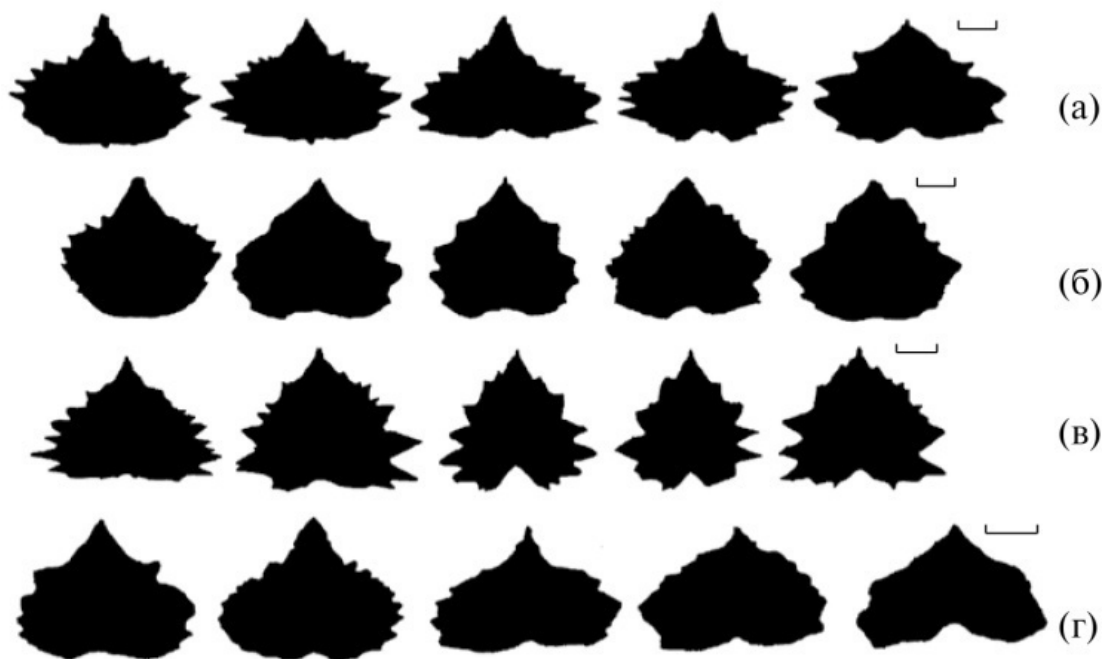
**Разработка бальной оценки пола.** Исходя из того, что наиболее вероятные статистические различия между самцами и самками стерляди по рассматриваемым критериям приходятся в среднем на первые 5-6 спинных жучек, была разработана расширенная и затем оптимизированная бальная оценка пола по первым 5 спинным жучкам для практического применения в производственных условиях. Оптимизированная оценка включала в себя все 3 критерия; за соответствие первым вариантам каждого критерия (самцы) предлагалось начислять 1 балл (1-й критерий – жучка овальной формы, 2-й – зубцы острые и удлиненные, 3-й – расстояние между спинными жучками  $< \frac{1}{2}$  средней ширины лопасти жучки) (таблица 1).



Таблица 1 – Критерии оптимизированной бальной оценки пола стерляди *Acipenser ruthenus*

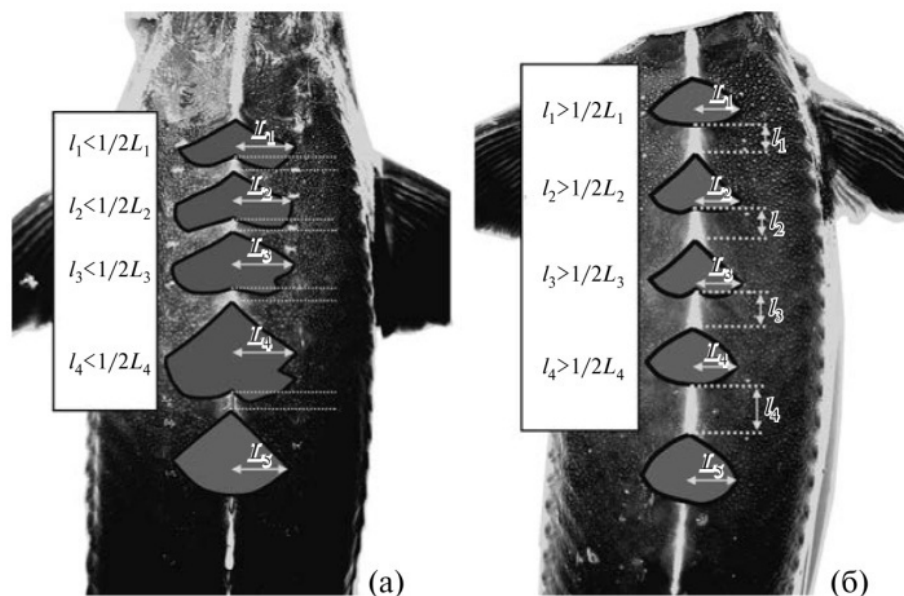
Критерий	Вариант признака	Число баллов
Визуальная форма спинной жучки	овальная	1
	округлая	0
Визуальная форма зубцов	острые и удлинённые	1
	короткие, закруглённые или не идентифицируются	0
Расстояние между спинными жучками	$< \frac{1}{2}$ средней ширины лопасти жучки	1
	$> \frac{1}{2}$ средней ширины лопасти жучки	0

На рисунках 3 и 4 приведены контуры спинных жучек, соответствующие вариантам признаков, за которые начисляются (рисунки 3 а, 3 в, 4 а) и не начисляются (рисунки 3 б, 3 г, 4 б) баллы.



а – овальная форма жучки, 1 балл за каждую жучку; б – округлая форма, 0 баллов; в – острые и удлинённые зубцы, 1 балл за каждую жучку; г – короткие и закруглённые зубцы или они не идентифицируются, 0 баллов (масштаб 5 мм)

Рисунок 3 – Контуры спинных жучек стерляди *Acipenser ruthenus*, соответствующие вариантам признаков, за которые начисляются (а, в) и не начисляются (б, г) баллы



**а** – среднее расстояние между жучками самца ( $l$ ) меньше  $\frac{1}{2}$  средней ширины их лопасти ( $L$ ); **б** – у самки –  $l > \frac{1}{2} L$

**Рисунок 4** – Плотность расположения первых пяти спинных жучек у самцов и самок стерляди *Acipenser ruthenus*

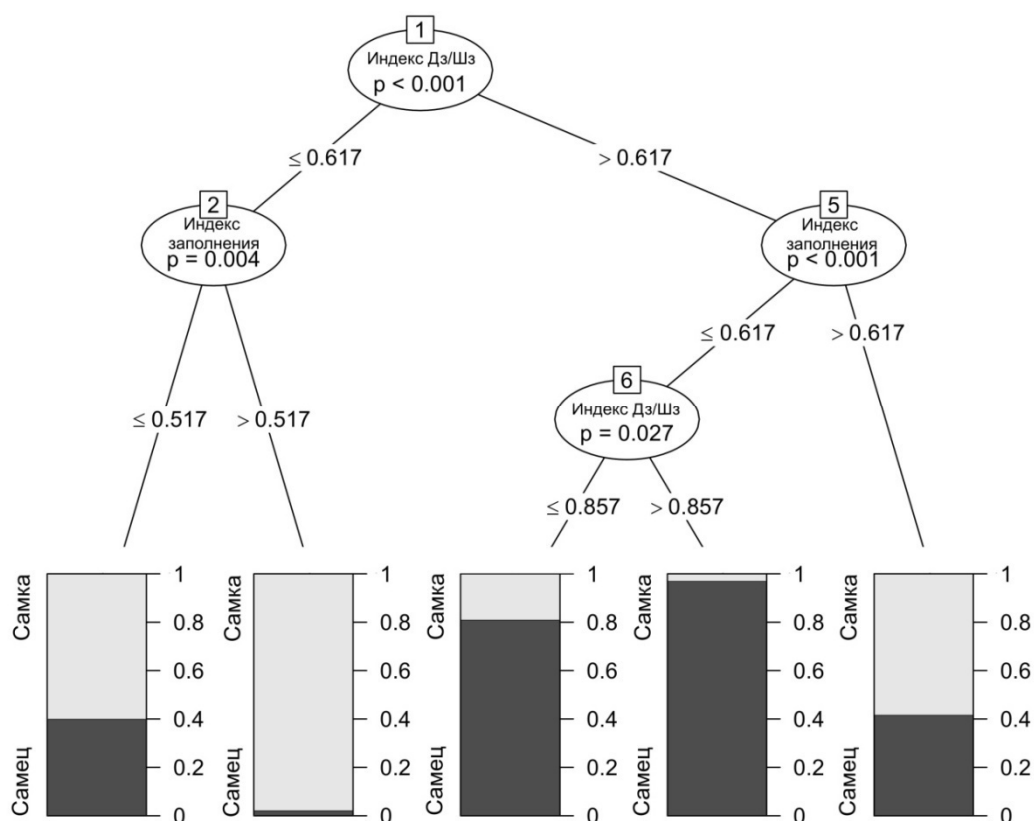
У некоторых самцов стерляди обнаружены нестандартные спинные жучки, существенно отличающиеся от обычных у большинства самцов и у всех самок. Данные нестандартные жучки, как правило, занимают 1-3-ю позицию от головы и встречаются только у самцов. Им присвоено рабочее название «мужские жучки». Среди мужских жучек можно выделить два типа – А и Б.

При использовании разработанной оптимизированной бальной оценки пола стерляди при суммарном числе баллов 5 и более обследуемый экземпляр стерляди с большой долей вероятности относится к самцу, при суммарном числе баллов 4 и менее – к самке. При наличии у экземпляра стерляди мужских жучек типа А и Б его относят к самцам без подсчёта баллов.

Таким образом, на основании полученных результатов разработан новый научно-методический и технологический способ ранней диагностики пола стерляди для отбора в ремонтно-маточное стадо, заключающийся в оценке экстерьерного строения костных пластинок и начисления баллов, согласно разработанной бальной шкале. В дальнейшем, нами разработаны алгоритмы определения пола для систем машинного зрения, используя бинарную матрицу, а также метод binary discriminant analysis с использованием алгоритма binDA и метод бинарного дерева решений с использованием алгоритма ID3 (Interactive Dichotomizer). Отбор параметров для построения бинарной матрицы осуществлялся на основании результатов отбора количественных параметров при помощи методов нейронных сетей, Random Forrest и алгоритма Voruta), а также на основании анализа качественных параметров при помощи критерия  $\chi^2$ . Критерием перехода из 1 в 0 в бинарной

матрице являлись полученные результаты при использовании метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения.

Проведенные исследования позволяли установить, что для диагностики пола по спинным костным пластинкам с использованием компьютерных алгоритмов анализа рекомендуется использовать комбинированные модели, осуществляющие определения пола по двух основным морфологическим индексам: индекс Дз/Шз и индекс заполнения. При этом точность определения пола таких моделей составляет: 96,67 % для первых десяти спинных жучек, 97,06 % для первых пяти спинных жучек (рисунок 5) и 94,28 % для первых трех спинных жучек.



**Рисунок 5 – Лучшая модель дерева решений для идентификации пола молоди стерляди по первым пяти спинным костным пластинкам, использующая индекс Дз/Шз и индекс заполнения**

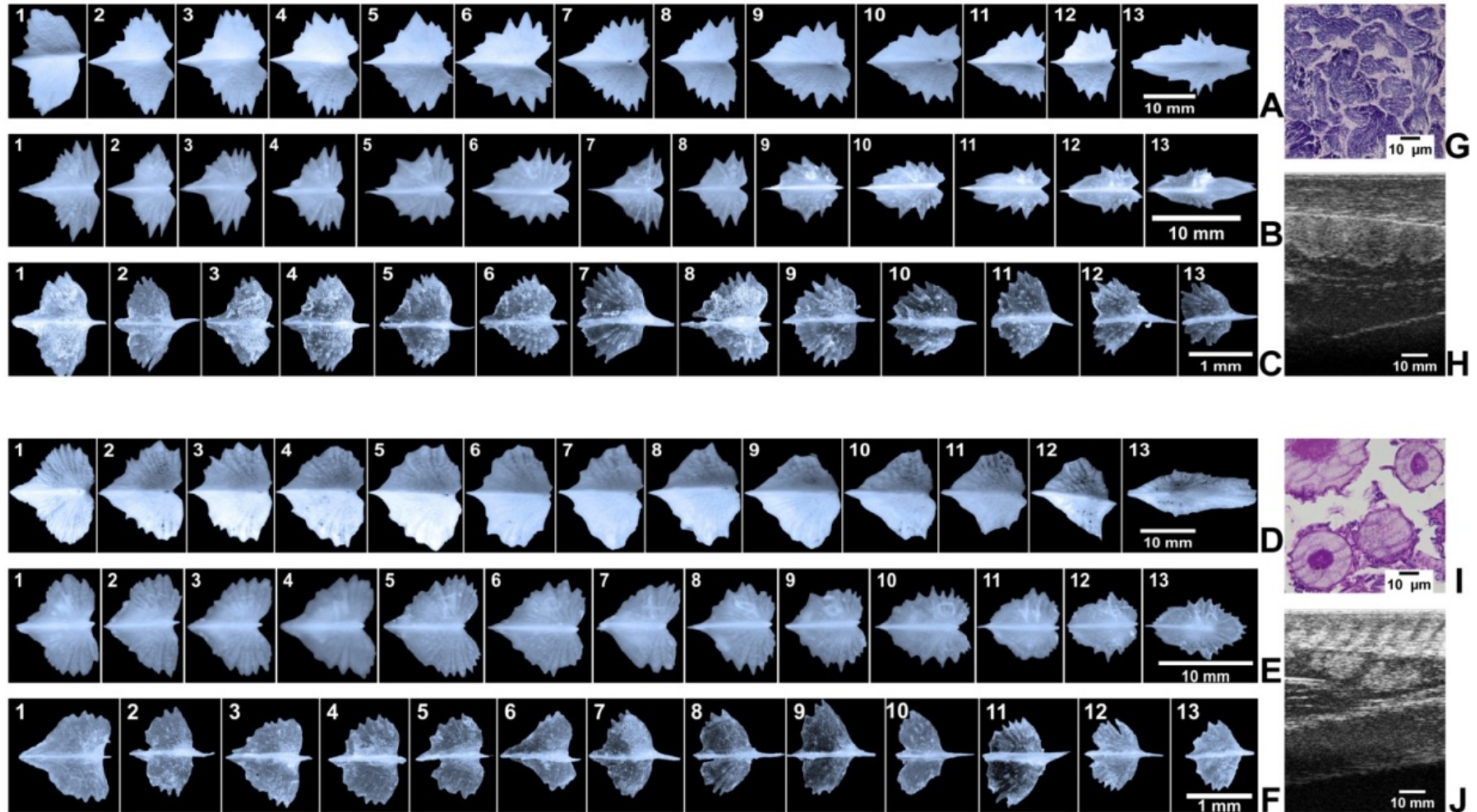
При необходимости определения пола по одной жучке рекомендуется использовать жучку №2 или жучку № 5 и анализировать ее по индексу Дз/Шз (точность определения пола 91,43 и 91,67 %, соответственно).

Разработанные балльная шкала и алгоритмы позволяют оптимизировать определение пола стерляди и получить экономический эффект в расчете на 1 экз. 12,36 руб. (в ценах на 15.04.2020 г.), создают методологические основы для разработки новой системы ранней диагностики пола для всех представителей семейства осетровых в племенной работе.

Таким образом, наши результаты показывают, что у самцов всех возрастов (взрослые особи, молодежь, малек) сохраняются общие полоспецифические закономерности в морфологическом строении спинных костных пластинок (в основном на первых пяти пластинках): по сравнению с самками, спинные костные пластинки самцов более вытянуты в ширину, по отношению к длине (результаты длины и индекса Ш/Д); за счет меньших размеров лопастей, спинные костные пластинки у самцов выглядят более сплюснутыми и узкими, чем у самок (результаты длины левой и правой лопасти, результаты индекса Дл/Д). На основании результатов индекса заполнения установлено, что спинные костные пластинки у самок выглядят более округлыми или овальными, чем у самцов. Яркой отличительной особенностью всех исследуемых костных пластинок самцов, является наличие более длинных, тонких и заостренных зубцов, которые выделяются относительно ширины пластинки, и их количество больше, чем у самок (результаты длины и ширины зубцов, индексы Дз/Ш, Дз/Шз, количества зубцов) (рисунок 6). Для верификации метода и идентификации самцов (*G, H*) и самок (*I, J*) взрослой стерляди использовали биопсию, а также методы гистологии (*G, I*) и ультразвуковой диагностики (*H, J*).

**Разработка методических и технологических приемов оценки потенциальной фертильности рыб с использованием современных методов.** Впервые в Беларуси составлен гормональный и биохимический репродуктивный профиль осетровых видов рыб, культивируемых в аквакультуре, а также обнаружена зависимость племенных качеств осетровых от изменения концентрации гормонов, активности гепатоспецифических ферментов, метаболитов белкового и минерального обменов.

Установлено, что функциональное состояние печени рыб оказывает существенное влияние на воспроизводительную функцию и, следовательно, на эффективность технологии производства посадочного материала, о чем свидетельствует динамика активности и концентрации гепатоспецифических маркеров: активность АсАТ ( $69,84 \pm 8,76$  МЕ/л) у туго созревающих (несозревающих) рыб из ремонтно-маточного стада была достоверно ( $P < 0,01$ ) ниже (на 97 %), чем у нормально созревающего ремонтно-маточного стада ( $137,60 \pm 1,97$  МЕ/л). Активность АсАТ существенно повышается в нерестовый период. При этом у рыб, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании, активность АсАТ ( $260,20 \pm 27,22$  МЕ/л) была достоверно ( $P < 0,01$ ) выше (на 46,7 %), чем у нормально созревших производителей ( $177,34 \pm 20,18$  МЕ/л), что свидетельствовало о некротическом поражении гепатоцитов и подтверждалось ультразвуковыми исследованиями. Активность АлАТ достоверно ( $P < 0,01$ ) повышается в нерестовый период, однако у рыб, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании, активность АлАТ ( $28,14 \pm 5,27$  МЕ/л) была достоверно ( $P < 0,01$ ) выше (на 77,2 %), чем у нормально созревших производителей ( $49,87 \pm 15,61$  МЕ/л).



серии очищенных жучек взрослых (средняя длина  $61,2 \pm 1,3$  см, возраст – 2 года (A, D), молоди (средняя длина  $24,8 \pm 1,5$  см, возраст – 1 год (B, E) и мальков (средняя длина  $70,3 \pm 3,6$  мм, возраст – 3 месяца (C, F) самцов (A, B, C) и самок (D, E, F)

Рисунок 6 – Визуальные половые морфологические различия в строении спинных жучек стерляди

Активность ЩФ была достоверно ( $P < 0,01$ ) выше, как у туго созревающего ремонтно-маточного стада ( $72,59 \pm 5,80$  МЕ/л) по сравнению с нормально созревающим РМС в период бонитировки ( $30,92 \pm 3,28$  МЕ/л, на 134,8 %), так и у производителей, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании ( $68,26 \pm 8,58$  МЕ/л, на 40,2 %), по сравнению с производителями, показавшими положительный результат ( $48,69 \pm 8,64$  МЕ/л).

Также были обнаружены характерные для патологических процессов в печени изменения в активности и концентрации ГГТ, ЛДГ,  $\alpha$ -гидроксибутиратдегидрогеназы, неорганического фосфора, общего белка у рыб, имеющих нарушения в воспроизводительной функции, что подтверждалось ультразвуковыми исследованиями.

Данная динамика была характерна для рыб, отрицательно ответивших на инъекции препаратами стимулирующими нерест.

Установлено, что у рыб, имеющих нарушения в созревании, а также у которых наблюдается замедленное развитие яичников, наблюдалось достоверное ( $P < 0,01$ ) увеличение концентрации тестостерона и ДЭАС 2,42 и 92,53 раза, соответственно, что в совокупности с ультразвуковыми исследованиями указывает на гиперпродукцию андрогенов в организме самок, имеющих нарушения в репродуктивной функции, в том числе нарушения в работе надпочечников и печени.

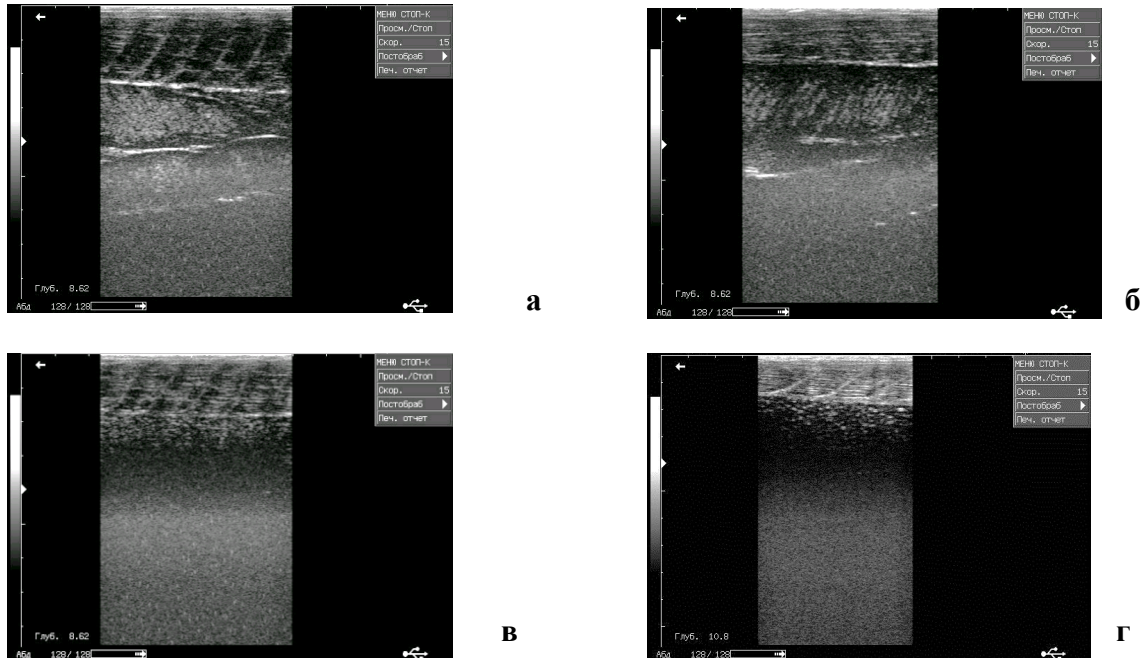
Таким образом, можно сделать вывод о необходимости использования тестостерона и ДЭАС в качестве маркеров выявления нарушений воспроизводительной функции осетровых рыб в процессе бонитировки ремонтно-маточных и племенных стад самок для икорной аквакультуры.

Проведенные исследования показывают возможность проведения комплексной диагностической оценки ремонта стерляди, выращиваемой с целью формирования ремонтных и ремонтно-маточных стад.

На основании полученных результатов разработана новая технология формирования маточных стад ценных видов рыб для производства посадочного материала, включающая комплексную биохимическую, иммунологическую и ультразвуковую оценку потенциальной фертильности, позволяющая осуществлять раннюю (в 2,0 раза раньше) диагностику и выявление потенциально инфертильных рыб.

Как показали проведенные исследования, с помощью биохимических и иммунологических методов возможно обнаружение инфертильных рыб уже в возрасте ремонтно-маточного стада, что, как правило, составляет половину возраста наступления первой половой зрелости: 39 месяцев для осетров и 24 месяца для стерляди.

Впервые в Беларуси составлен атлас эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси, для использования в технологии производства посадочного материала при оценке племенных качеств ремонтно-маточных стад (рисунок 7). Подробно описаны стадии развития гонад и проведена диагностика некоторых внутренних органов.



**а – 2-я стадия зрелости; б – 2-я жировая стадия зрелости;  
в – 3-я стадия зрелости; г – 4-я незавершенная стадия зрелости**

**Рисунок 7 – Эхограмма продольного среза яичника самок осетровых рыб, культивируемых в промышленных рыбоводных хозяйствах Беларуси**

Определены сроки начала дифференциации гонад, выявлены оптимальные периоды половой выбраковки, что обеспечивает раннюю (в 2-2,5 раза раньше аналогов) диагностику и выявление рыб с потенциально ранним половым созреванием и высокой продуктивностью и позволяет получить экономический эффект в среднем на 238,81 руб. (в зависимости от вида рыб), в расчете на 1 экз. (в ценах на 15.04.2020 г.).

### **Повышение эффективности технологии искусственного воспроизводства ценных видов рыб**

**Разработка способа повышения репродуктивных качеств племенного стада ценных видов рыб.** Под влиянием воздействия лазерного излучения с длиной волны  $670 \pm 20$  нм, осуществляемого в преднерестовый период, с общей

экспозицией по 8-10 минут ежедневно, в течение 5 дней на 4-5 точек жаберных лепестков производителей, при плотности мощности излучения 40-50 мВт/см<sup>2</sup>, у самок осетровых рыб было установлено более интенсивное снижение концентрации половых гормонов (эстрадиола, тестостерона, прогестерона). Также обнаружено повышение ответа на гормональное стимулирование на 30 %; у самцов осетровых рыб происходило повышение ответа на гормональное стимулирование на 50 %, объема эякулята в 1,75 раза (P<0,05), времени подвижности сперматозоидов на 38,46 % (P<0,05). Под влиянием указанного способа оплодотворение икры повысилось на 4,8-5,5 % (P<0,05), выживаемость предличинок при выклеве на 4,9-13,1 % (P<0,05), выживаемость личинок при переходе на активное питание на 11,7-14,5 % (P<0,05) (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние лазерного излучения на рыбоводно-биологические показатели нереста самок возвратного гибрида бестера

Параметры	Контрольная группа	Опытная группа ( $\lambda = 670$ нм, красная область спектра, $P = 45$ мВт/см <sup>2</sup> )	Опытная группа ( $\lambda = 810$ нм, инфракрасная область спектра, $P = 125$ мВт/см <sup>2</sup> )
Количество самок	10	10	10
Ответ на гормональное стимулирование, %	50	80	80
Оплодотворение, %	91,8±2,9	97,3±2,5*	96,6±1,9*
Выживаемость предличинок при выклеве, %	71,0±3,1	84,1±3,7*	75,9±2,9
Выживаемость личинок при переходе на активное питание	68,7±4,9	83,2±5,9*	80,4±6,1*

Примечание: \* – P<0,05

Экономический эффект от использования указанного способа составил 130,43 руб. в расчете на 100 000 экз. личинок (в ценах на 15.04.2020 г.).

#### **Разработка способов повышения качества спермы ценных видов рыб.**

Установлено, что приложение постоянного магнитного поля индукцией 50 мТл оказывает влияние на глубину проникновения лазерного излучения в многослойную ткань живых сперматозоидов: отмечается индуцированное магнитным полем изменение скорости прямо- и криво- линейного движения и характер траекторий движения; наблюдается выраженное влияние магнитного поля на распределение клеток по скоростям движениям. Данный эффект является подтверждением жидкокристаллического характера строения сперматозоидов рыб.

Выявлено, что максимальный биологический эффект наблюдался при воздействии поляризованного монохроматического лазерного излучения. Переход



же к широкополосному линейно-поляризованному излучению сопровождался снижением биологического действия. Биологические эффекты, индуцируемые линейно-поляризованным излучением монохроматического лазерного и квази-монохроматического светодиодного источников, практически не отличаются.

Установлено, что реакция сперматозоидов на воздействие оптического излучения одинаковой средней плотности мощности зависит от режима облучения (непрерывный, квазинепрерывный и импульсный: наносекундный и пикосекундный), включая зависимость от частоты модуляции излучения. Дозы энергии и режим работы оптического излучения могут оказывать как стимулирующее, так и тормозящее действие на скорость движения и продолжительность подвижности сперматозоидов, а также на поддержание функциональных характеристик. Биологический эффект также сильно зависит от длины волны воздействующего излучения и наблюдается, в том числе, при воздействии излучения вне полос электронного поглощения основных хромофоров животной клетки, а также полос прямого поглощения молекулярного кислорода в ближней инфракрасной области спектра.

Установлено, что среди возможных причин высокого стимулирующего эффекта от излучения красной области спектра, является снижение наработки активных форм кислорода, способных при высокой концентрации оказывать ингибирующее действие. При изучении влияния частоты модуляции оптического излучения на подвижность сперматозоидов осетровых рыб установлено, что применение режима модуляции излучения, в зависимости от ее частоты, способно как повысить стимулирующий эффект, характерный для непрерывного излучения, так и снизить его.

Таким образом, на основании проведенных исследований, впервые разработан новый комплекс способов повышения качественных показателей спермы осетровых видов рыб для технологии производства посадочного материала. При воздействии лазерным излучением при  $\lambda = 450$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частотой модуляции  $F = 50$  Гц в экспозиции 30 с происходило повышение среднего времени подвижности сперматозоидов на 35,3 % ( $P < 0,05$ ), по сравнению с контрольной группой. Воздействие лазерного излучения при  $\lambda = 670$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частотой модуляции  $F = 50$  Гц в экспозиции 40 с приводило к повышению среднего времени подвижности сперматозоидов на 125,5 % ( $P < 0,05$ ). При длине волны  $\lambda = 1270$  нм, мощностью излучения  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частоте модуляции  $F = 50$  Гц в экспозиции 30 с происходило повышение среднего времени подвижности сперматозоидов на 110,5 % ( $P < 0,05$ ). При совместном действии лазерным излучением при  $\lambda = 670$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup> и постоянного магнитного поля  $50 \pm 5$  мТл в экспозиции 20 с происходило повышение среднего времени подвижности сперматозоидов до  $294,0 \pm 10,2$  с ( $P < 0,05$ ) (эффект стимуляции 145 %) (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние лазерного излучения красной области спектра, постоянного магнитного поля, а также совместного действия лазерного излучения и постоянного магнитного поля на время активности сперматозоидов самцов осетровых рыб после активации водой через 24 часа после хранения

Группы	Время воздействия, с	Время подвижности, с	Величина стимулирующего действия, $\gamma$ , %	Уровень значимости
Контрольная	0	120,0 $\pm$ 7,6	100	–
Магнитное поле 50 $\pm$ 5 мТл	10	124,2 $\pm$ 7,4	103,5 $\pm$ 1,6	–
	20	122,3 $\pm$ 9,5	101,9 $\pm$ 6,7	–
	30	125,3 $\pm$ 5,0	104,4 $\pm$ 1,1	–
	40	123,8 $\pm$ 3,7	103,2 $\pm$ 4,5	–
	50	125,0 $\pm$ 9,0	104,2 $\pm$ 2,3	–
	60	126,8 $\pm$ 8,8	105,7 $\pm$ 4,2	P < 0,05
Лазерное излучение ( $\lambda$ = 670 нм, красная область спектра, P = 3,0 $\pm$ 0,2 мВт/см <sup>2</sup> )	10	168,2 $\pm$ 7,8	140,2 $\pm$ 3,4	P < 0,05
	20	183,7 $\pm$ 7,5	153,1 $\pm$ 2,7	P < 0,05
	30	210,6 $\pm$ 9,1	175,5 $\pm$ 4,2	P < 0,05
	40	260,0 $\pm$ 7,6	216,7 $\pm$ 6,4	P < 0,05
	50	252,0 $\pm$ 8,9	210,0 $\pm$ 5,6	P < 0,05
	60	241,6 $\pm$ 8,6	201,3 $\pm$ 3,2	–
Лазерное излучение ( $\lambda$ = 670 нм, красная область спектра, P = 3,0 $\pm$ 0,2 мВт/см <sup>2</sup> ) + магнитное поле (50 $\pm$ 5 мТл)	10	199,6 $\pm$ 9,4	166,3 $\pm$ 5,6	P < 0,05
	20	294,0 $\pm$ 10,2	245,0 $\pm$ 6,8	P < 0,05
	30	252,5 $\pm$ 11,2	210,4 $\pm$ 5,4	P < 0,05
	40	226,4 $\pm$ 7,8	188,7 $\pm$ 7,0	P < 0,05
	50	204,0 $\pm$ 8,9	170,0 $\pm$ 5,9	–
	60	171,8 $\pm$ 7,6	143,2 $\pm$ 6,9	–

Разработанный комплекс способов обеспечивал повышение процента оплодотворения икры до 18 % (P<0,05), что обеспечивало получение экономического эффекта 343,48 руб. в расчете на 100 000 экз. оплодотворенной икры (в ценах на 15.04.2020 г.).

### **Повышение эффективности технологии выращивания рыбопосадочного материала ценных видов рыб**

**Разработка способов повышения рыбоводно-биологических и хозяйственно-полезных качеств рыбопосадочного материала ценных видов рыб.** В результате проведенных исследований установлено, что при сравнении оптического излучения между собой по типу поляризации, максимальный стимулирующий эффект наблюдался при воздействии линейно-поляризованного излучения, минимальный – неполяризованного. Излучение с круговой поляризацией по биологической активности имело промежуточное значение. Это позволяет сделать вывод об определяющем значении поляризации излучения в реализации его биологического действия. Сравнение результатов исследований, вы-

полненных с использованием излучения различной степени временной когерентности, показало, что биологические эффекты, индуцируемые линейно-поляризованным излучением монохроматического лазерного и квазимонохроматического светодиодного источников, практически не отличаются. Переход к широкополосному линейно-поляризованному излучению сопровождается снижением биологического действия.

На основании выявленных закономерностей, впервые разработан новый комплекс способов повышения рыбоводно-биологических и хозяйственно-полезных качеств молоди, применяемый в технологии производства посадочного материала, заключающийся в воздействии на эмбрионы рыб низкоинтенсивным лазерным и поляризованным светодиодным излучением с длиной волны от 450 до 850 нм, непрерывном и импульсном по интенсивности режимах, при средней плотности мощности  $2,9 \pm 0,2$  мВт/см<sup>2</sup>.

При воздействии на эмбрионы осетровых рыб линейно-поляризованным широкополосным излучением белого светодиода при  $\lambda = 420-800$  нм с максимумами –  $\lambda = 453$  и  $567$  нм в экспозиции 60 с, происходило увеличение средней массы рыбопосадочного материала на 11,1 % ( $P < 0,01$ ). Воздействие на эмбрионы осетровых рыб линейно-поляризованным излучением сверхяркого синего светодиода при  $\lambda = 450$  нм в экспозиции 60 с оказывало влияние на повышение выживаемости предличинок на 8-11 % ( $P < 0,05$ ) и увеличение средней массы на 22 % ( $P < 0,05$ ).

Линейно-поляризованное квазимонохроматическое излучение сверхяркого красного светодиода при  $\lambda = 630$  нм в экспозиции 60 с способствовало повышению выживаемости на 5,6-19,6 % ( $P < 0,01$ ), средней массы на 18,6 % ( $P < 0,001$ ), средней длины на 10,5 % ( $P < 0,001$ ), параметров жизнестойкости рыбопосадочного материала на 5,6-16,4 % ( $P < 0,01$ ).

При воздействии на эмбрионы осетровых рыб монохроматическим линейно-поляризованным излучением гелий-неонового лазера красного спектра при  $\lambda = 632,8$  нм в экспозиции 60 с происходило повышение средней массы рыбопосадочного материала на 20,4 % ( $P < 0,05$ ).

Комбинация квазимонохроматического излучения сверхяркого синего светодиода при  $\lambda = 450$  нм в экспозиции 60 с и монохроматического линейно-поляризованного излучения полупроводникового лазера инфракрасного света при  $\lambda = 808$  нм в экспозиции 60 с позволила повысить выживаемость на 17-19 % ( $P < 0,05$ ), снизить аномалии в развитии на 11-12 % ( $P < 0,05$ ), среднюю массу рыбопосадочного материала на 49-55 % ( $P < 0,05$ ) (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние последовательного (комбинированного) воздействия на эмбрионы оптическим излучением различного спектрального диапазона ( $P = 2,9 \pm 0,2$  мВт/см<sup>2</sup>,  $t = 60$  с) на показатели, характеризующие развитие осетровых рыб на эмбриональной и постэмбриональной стадиях

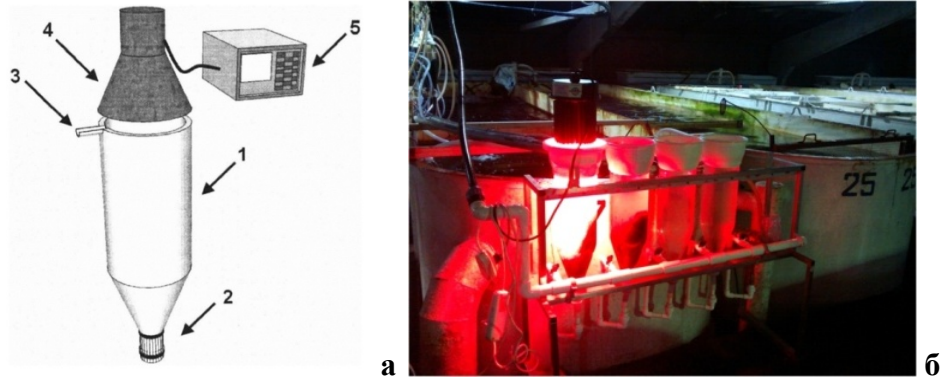
Контролируемый параметр	Показатели (% к контролю) при последовательном воздействии на эмбрионы излучением спектральных диапазонов				Показатели контрольной группы, %
	синий и красный свет	красный и синий свет	синий и ИК свет	ИК и синий свет	
Выживаемость предличинок на стадии выклева	86±2,3*	82±1,9*	87±2,1*	89±1,9*	70±3,5
Нарушения в развитии обонятельных органов личинок	13±1,3*	12±1,0*	11±0,9*	10±0,8	22±2,4
Средняя масса 50-суточной молоди осетровых рыб	140±3,5*	128±6,5*	155±4,2*	149±4,7*	100±1,7

Установлено, что воздействие на эмбрионы лососевых рыб оптическим излучением низкой интенсивности способствовало повышению их рыбоводно-биологического качества. Наиболее высокие значения экономического эффекта установлены при использовании красных сверхярких светодиодных источников – 279,98 руб. в расчете на 100 000 личинок (в ценах на 15.04.2020 г.). Экономическая эффективность лазерных источников света возможно только при длительном использовании на больших объемах эмбрионов рыб.

**Разработка рыбоводно-технологического обоснования повышения рыбоводно-биологических и хозяйственно-полезных качеств рыбопосадочного материала ценных видов рыб на основе совершенствования установок для инкубации икры.** На основании разработанных способов впервые созданы установки для инкубации икры (эмбрионов) осетровых и лососевых рыб для повышения эффективности технологии производства посадочного материала. Установки выполнены на базе светодиодных источников оптического излучения и сконструированы с учетом установленных рекомендуемых видоспецифических режимов и дозирования воздействия, позволяют повысить выживаемость до 16,4 % ( $P < 0,001$ ), размерно-весовые показатели молоди осетровых и лососевых видов рыб – до 38,7 % ( $P < 0,05$ ), обеспечивающие получение экономического эффекта 341,45 руб. в расчете на 100 000 экз. личинок (в ценах на 15.04.2020 г.).

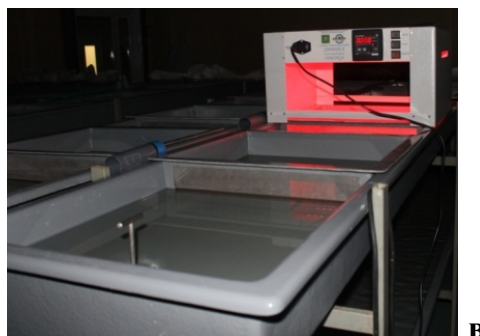
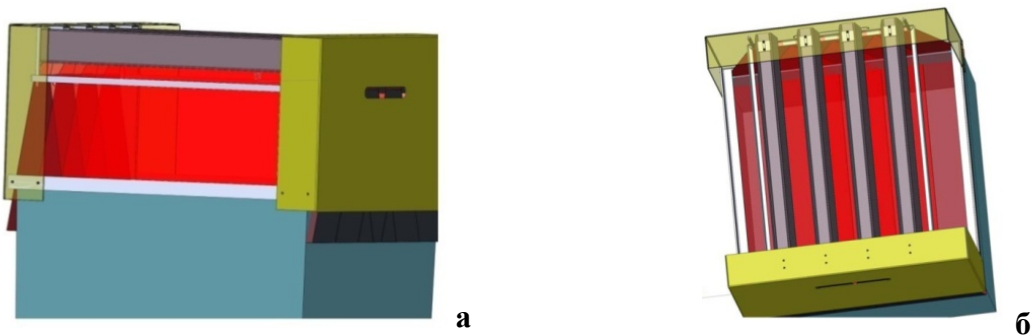
Установка для инкубации икры (эмбрионов) рыб включает герметичную емкость и крышку, выполненную из стекла органического цветного красного, по-

крытого поляроидной пленкой, в качестве источника излучения используется как солнечный свет, так и искусственное освещение, применяемое в помещении. Устройства (лазерно-оптические приборы «Sturgeon» и «Стронга») для инкубации икры (эмбрионов) осетровых и лососевых рыб включают открытую герметичную емкость и модуль оптического излучения, который выполнен на базе светодиодного источника или на базе матрицы светодиодных источников одинаковых или различных длин волн с оптическим преобразователем пучка оптического излучения.



а - общая схема; б - расположение на инкубационном аппарате «Вейса»; 1 - емкость; 2 - нижний патрубок; 3 – сливной носик; 4 - модуль оптического излучения; 5 - модуль питания и управления

Рисунок 8 – Установка для инкубации икры осетровых рыб «Sturgeon»



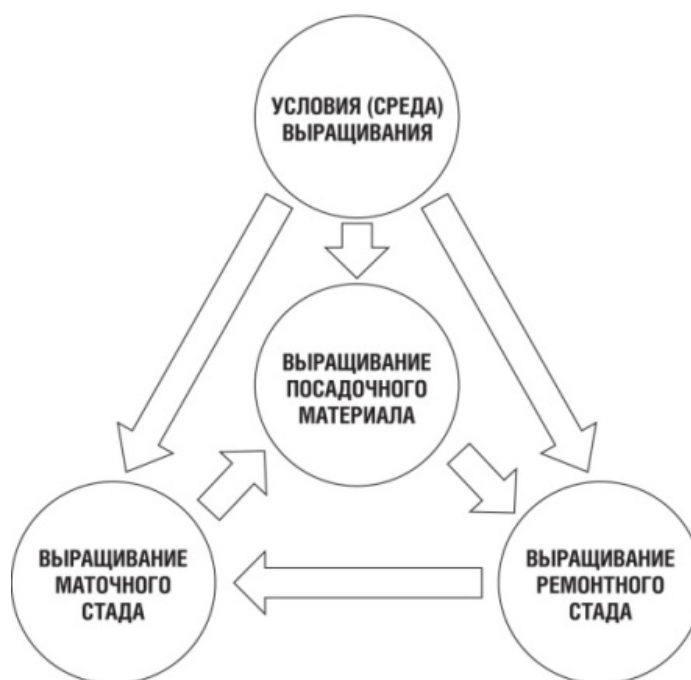
а – вид сбоку; б – вид сверху; в – расположение на инкубационном лотке

Рисунок 9 – Установка для инкубации икры «Стронга» лососевых рыб

**Разработка научно-обоснованного системного подхода для  
повышения эффективности технологии производства  
посадочного материала ценных видов рыб в рыбоводных  
индустриальных комплексах**

В результате многолетних исследований, проведенных в рамках международных, фундаментальных и инновационных научно-исследовательских проектов разработана и научно обоснована система рыбоводно-технологических и физико-биохимических методов регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах для решения проблемы обеспечения населения высококачественной ценной рыбной продукцией.

Воспроизводство ценных видов рыб – это сложный технологический процесс, включающий в себя работу с производителями, получение посадочного материала, формирование ремонтного и маточного стада. Каждый этап данного технологического процесса оказывает влияние на успех следующего этапа и в целом всей технологии воспроизводства. Успех получения жизнестойкого посадочного материала зависит от продуктивности, здоровья и качества производителей из маточного стада, а полноценное ремонтное стадо формируется из посадочного материала, который должен выращиваться по другой, отличной от товарного выращивания технологии. Продуктивность рабочего маточного стада зависит от эффективности отбора и качества ремонтного стада. Каждый из названных элементов, в свою очередь, зависит от условий и технологии выращивания (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Система взаимосвязи основных этапов технологии воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах**

На основании проведенных исследований разработаны: организационно-технологическая модель развития искусственного воспроизводства рыбы и рыбодонных индустриальных комплексов для повышения эффективности технологии производства посадочного материала ценных видов рыб в Беларуси; предложения по стратегии развития основных направлений аквакультуры осетровых рыб Республике Беларусь – икорно-племенное осетроводство, мясное осетроводство, искусственное разведение и воспроизводство, восстановление природных популяций; предложения по стратегии развития аквакультуры лососевых рыб в Республике Беларусь – искусственное воспроизводство, установки замкнутого водоснабжения, восстановление природных популяций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Выявлены экстерьерные закономерности при идентификации самок взрослой стерляди, а также у молоди и мальков осетровых рыб по морфологическим параметрам и коэффициентам между первыми пятью жучками (производными кориума). Различия между морфологическими параметрами и коэффициентами самцов и самок жучек стерляди доходили до 105,4 % ( $P < 0,05$ ) для взрослых, до 200,0 % ( $P < 0,05$ ) – для молоди и до 151,5 % ( $P < 0,05$ ) – для мальков.

Разработан новый способ ранней диагностики пола семейства осетровых рыб, включающей оценку экстерьерного строения костных пластинок и начисление баллов, согласно созданной шкале и / или использование вычисленных алгоритмов для систем машинного зрения, что позволяет увеличить точность раннего определения пола до 97,06 % и получить экономический эффект 12,36 руб. в расчете на 1 экз. (в ценах на 15.04.2020 г.) при формировании ремонтно-маточного стада осетровых [1, 2, 3, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 35, 37, 58, 59, 60].

2. Составлен гормональный и биохимический репродуктивный профиль осетровых видов рыб, культивируемых в аквакультуре. Обнаружена зависимость племенных качеств осетровых рыб от изменения концентрации гормонов, активности гепатоспецифических ферментов, метаболитов белкового и минерального обменов. Установлено, что функциональное состояние печени рыб оказывает существенное влияние на воспроизводительную функцию рыб и, следовательно, на эффективность технологии производства посадочного материала, о чем свидетельствует динамика активности и концентрации гепатоспецифических маркеров: активность АсАТ у тугосозревающих (несозревающих) рыб из ремонтно-маточного стада (РМС) была достоверно ( $P < 0,01$ ) ниже (на 97 %), чем у нормально созревающего РМС. Активность ЩФ была достоверно ( $P < 0,01$ ) выше (на 134,8 %) у туго созревающего РМС по сравнению с нормально созревающим РМС в период бонитировки. Обнаружены характерные для патологических про-

цессов в печени достоверные ( $P < 0,01$ ) изменения в активности и концентрации ГГТ, ЛДГ,  $\alpha$ -гидрокси-бутиратдегидрогеназы, неорганического фосфора, общего белка у рыб, имеющих нарушения в воспроизводительной функции, что подтверждалось ультразвуковыми исследованиями.

Составлен атлас эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси, для использования в технологии производства посадочного материала при оценке племенных качеств РМС. Определены сроки начала дифференциации гонад, выявлены оптимальные периоды половой выбраковки. Разработана новая технология формирования маточных стад осетровых видов рыб, заключающаяся в отборе рыб на основании биохимической, иммунологической и ультразвуковой оценки потенциальной фертильности, отличающаяся ранней (в 2,0 раза раньше аналогов) диагностикой потенциально инфертильных рыб, и ранним (в 2-2,5 раза раньше аналогов) выявлением рыб с потенциальным половым созреванием и высокой продуктивностью, что позволяет увеличить экономический эффект от формирования маточного в среднем на 238,81 руб. в расчете на 1 экз. (в ценах на 15.04.2020 г.) [2, 3, 5, 15, 17, 20, 22, 26, 49, 50, 53, 54, 66, 69, 70, 72, 81].

3. Разработан новый способ повышения воспроизводительных качеств маточного стада осетровых видов рыб на основе использования оптического излучения низкой интенсивности, отличающийся воздействием в преднерестовом периоде лазерного излучения с длиной волны  $670 \pm 20$  нм при плотности мощности излучения 40-50 мВт/см<sup>2</sup> с общей экспозицией по 8-10 минут ежедневно, в течение 5 дней на 4-5 точек жаберных лепестков производителей, обеспечивающий повышение ответа на гормональное стимулирование на 30-50 %, объема эякулята – в 1,75 раза ( $P < 0,05$ ), времени подвижности сперматозоидов – на 38,46 % ( $P < 0,05$ ), процента оплодотворения икры – на 4,8-5,5 % ( $P < 0,05$ ), выживаемости предличинок при выклевке – на 4,9-13,1 % ( $P < 0,05$ ), выживаемости личинок при переходе на активное питание – на 11,7-14,5 % ( $P < 0,05$ ), позволяющий получить экономический эффект 130,43 руб. в расчете на 100 000 экз. личинок (в ценах на 15.04.2020 г.) [2, 3, 11, 47, 65, 71, 81, 87, 91].

4. Разработан комплекс новых способов повышения качественных показателей спермы маточного стада осетровых видов рыб для технологии производства посадочного материала, основанных на использовании оптического излучения низкой интенсивности, отличающихся воздействием на сперму поляризованного излучения с длиной волны 450-1270 нм, непрерывным, квазинепрерывным, модулированным и импульсным по интенсивности режимами, в сочетании с магнитным полем ( $50 \pm 5$  мТл) или без него, при плотности мощности – 0,5-100 мВт/см<sup>2</sup> в течение времени, обеспечивающим энергетическую дозу 60-180 мДж/см<sup>2</sup>. При воздействии лазерного излучения при  $\lambda = 450$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частотой модуляции  $F = 50$  Гц в экспозиции 30 с происходило



повышение среднего времени подвижности сперматозоидов на 35,3 % ( $P < 0,05$ ), по сравнению с контрольной группой. Воздействие лазерного излучения при  $\lambda = 670$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частотой модуляции  $F = 50$  Гц, и в экспозиции 40 с приводило к увеличению среднего времени подвижности сперматозоидов на 125,5 % ( $P < 0,05$ ). Облучение лазером при  $\lambda = 1270$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup>, частотой модуляции  $F = 50$  Гц в экспозиции 30 с способствовало повышению среднего времени подвижности сперматозоидов на 110,5 % ( $P < 0,05$ ). При совместном действии лазерного излучения при  $\lambda = 670$  нм,  $P = 3,0$  мВт/см<sup>2</sup> и постоянного магнитного поля  $50 \pm 5$  мТл в экспозиции 20 с среднее время подвижности сперматозоидов увеличилось до  $294,0 \pm 10,2$  с ( $P < 0,05$ ) (эффект стимуляции 145 %). Установлено, что в зависимости от дозы энергии и режима работы лазера излучение может оказывать как стимулирующее, так и тормозящее действие на скорость движения и продолжительность подвижности сперматозоидов, а также на поддержание функциональных характеристик. Экспериментально доказана возможность усиления биологического эффекта при переходе от непрерывного излучения к квазинепрерывному волновому лазерному излучению при одинаковой освещенности и длине волны. Разработанный комплекс способов обеспечивал повышение процента оплодотворения икры до 18 % ( $P < 0,05$ ), что выражалось в получении экономического эффекта 343,47 руб. в расчете на 100 000 экз. оплодотворенной икры (в ценах на 15.04.2020 г.) [2, 3, 12, 16, 18, 21, 36, 38, 39, 42, 57, 61, 63, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 88, 89].

5. Разработан комплекс новых способов повышения рыбопродуктивных биологических и хозяйственно-полезных качеств молоди осетровых и лососевых рыб, обеспечивающих повышение эффективности технологии производства посадочного материала при использовании оптического излучения низкой интенсивности, отличающихся облучением эмбрионов рыб лазером или воздействием поляризованного светодиодного излучения с длиной волны от 450 до 850 нм, непрерывным и импульсным по интенсивности режимами, при средней плотности мощности  $2,9 \pm 0,2$  мВт/см<sup>2</sup>. При воздействии на эмбрионы осетровых рыб линейно-поляризованным широкополосным излучением белого светодиода при  $\lambda = 420-800$  нм с максимумами при  $\lambda = 453$  и 567 нм в экспозиции 60 с, происходило увеличение средней массы рыбопосадочного материала на 11,1 % ( $P < 0,01$ ). Линейно-поляризованное излучение сверхяркого синего светодиода при  $\lambda = 450$  нм в экспозиции 60 с оказывало положительное влияние на эмбрионы осетровых рыб и обеспечивало повышение выживаемости предличинок на 8-11 % ( $P < 0,05$ ), увеличение средней массы на 22 % ( $P < 0,05$ ). Воздействие на эмбрионы осетровых рыб линейно-поляризованным квазимонохроматическим излучением сверхяркого красного светодиода при  $\lambda = 630$  нм в экспозиции 60 с оказало положительное влияние на повышение выживаемости на 5,6-19,6 % ( $P < 0,01$ ), увеличение средней массы – на 18,6 % ( $P < 0,001$ ), средней длины – на

10,5 % ( $P < 0,001$ ), параметров жизнестойкости рыбопосадочного материала – на 5,6-16,4 % ( $P < 0,01$ ). Облучение эмбрионов осетровых рыб монохроматическим линейно-поляризованным излучением гелий-неонового лазера красного спектра при  $\lambda = 632,8$  нм в экспозиции 60 с способствовало повышению средней массы рыбопосадочного материала на 20,4 % ( $P < 0,05$ ). Комбинация квазимонохроматического излучения сверхяркого синего светодиода при  $\lambda = 450$  нм в экспозиции 60 с и монохроматического линейно-поляризованного излучения полупроводникового лазера инфракрасного света при  $\lambda = 808$  нм в экспозиции 60 с привела к повышению выживаемости на 17-19 % ( $P < 0,05$ ), снижению аномалий в развитии – на 11-12 % ( $P < 0,05$ ), повышению средней массы рыбопосадочного материала – на 49-55 % ( $P < 0,05$ ). Наиболее высокое значение экономического эффекта было получено при использовании красных сверхярких светодиодных источников – 279,98 руб. в расчете на 100 000 личинок (в ценах на 15.04.2020 г.) [2, 3, 4, 9, 10, 13, 24, 40, 41, 44, 45, 46, 55, 62, 64, 71, 79, 81, 84, 93, 94, 95, 96].

6. Обосновано повышение выживаемости эмбрионов ценных видов рыб (до 16,4%) и размерно-весовых показателей молоди (до 38,7%) на основе совершенствования установок для инкубации икры, отличающихся применением светодиодных источников оптического излучения и видоспецифическими режимами дозирования, позволяющих получить экономический эффект 341,45 руб. на 100 000 шт. личинок рыб (в ценах на 15.04.2020 года) [2, 3, 23, 43, 78, 81, 82, 85, 86, 90].

7. Разработана организационно-технологическая модель развития искусственного воспроизводства рыбы и рыбоводных индустриальных комплексов для повышения эффективности технологии производства посадочного материала ценных видов рыб в Беларуси. Предложена стратегия развития основных направлений аквакультуры осетровых рыб в Республике Беларусь – икорно-племенное осетроводство, мясное осетроводство, искусственное разведение и воспроизводство, восстановление природных популяций; и аквакультуры лососевых рыб – искусственное воспроизводство, установки замкнутого водоснабжения, восстановление природных популяций [2, 3, 6, 7, 8, 14, 19, 25, 31, 34, 48, 51, 52, 56, 67, 83, 92, 97, 98, 99, 100].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов исследований**

1. Для повышения эффективности формирования ремонтно-маточных и племенных стад осетровых видов рыб в технологии производства посадочного материала рекомендуется использовать комплекс методических и технологических приемов, заключающихся: в оценке экстерьерного строения костных пластинок и начислении баллов, согласно разработанной шкале и использовании алгоритмов определения пола для систем машинного зрения; в биохимической, иммуно-

логической и ультразвуковой оценке потенциальной фертильности рыб; в использовании атласа эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси [81, выписка из протокола № 1 от 09.01.2017 г. заседания секции животноводства научно-технического совета Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, акты и справки о практическом использовании результатов исследований за 2017-2020 гг. в фермерском хозяйстве «Василек» Дзержинского р-на, в ООО «Фирма Ремона» г. Могилева, в УО БГСХА г. Горки, в ЗАО «Агрокомбинат Несвижский» Несвижского р-на, в ОАО «Рыбхоз «Волма» Червенского района, в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» Березовского района].

2. Для повышения продуктивных и воспроизводительных качеств производителей осетровых видов и их половых продуктов в технологии производства посадочного материала рекомендуется использовать: способ повышения племенных и репродуктивных качеств производителей осетровых рыб, заключающийся в том, что в преднерестовом периоде в течение 5 дней на 4-5 точек жаберных лепестков производителей оказывают воздействие лазером с длиной волны 670 нм, при плотности мощности излучения  $40-50 \text{ мВт/см}^2$  с временем экспозиции 8-10 минут ежедневно; способ повышения активности сперматозоидов самцов осетровых рыб, заключающийся в воздействии на сперму поляризованным оптическим излучением с длиной волны 450-1270 нм, непрерывном или модулированным по интенсивности режимах, при плотности мощности  $0,5-100 \text{ мВт/см}^2$  в течение времени, обеспечивающим энергетическую дозу  $60-180 \text{ мДж/см}^2$  [81, 87, 88, 89, выписка из протокола № 1 от 09.01.2017 г. заседания секции животноводства научно-технического совета Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, акты и справки о практическом использовании результатов исследований за 2017 г. в фермерском хозяйстве «Василек» Дзержинского р-на, в ООО «Фирма Ремона» г. Могилева, в УО БГСХА г. Горки].

3. Для повышения эффективности технологии производства посадочного материала осетровых и лососевых видов рыб рекомендуется использование линейно-поляризованного оптического излучения низкой интенсивности, плотность мощности излучения –  $2,9 \pm 0,2 \text{ мВт/см}^2$ : при использовании лазерного излучения рекомендуемые длины волн для осетровых рыб – 632,8 и 850 нм при однократном воздействии на 24 стадии эмбрионального развития в течение 60 с в непрерывном и импульсном режиме; при использовании светодиодного излучения рекомендуется использование устройств для инкубации икры, а именно для осетровых рыб установку для инкубации икры «Sturgeon» при однократном воздействии на 24 стадии эмбрионального развития в течении 60 – 90 с, для лососевых рыб – лазерно-оптический прибор «Стронга»; при использовании комбинации лазерного и светодиодного излучения рекомендуется осуществлять

воздействие светодиодным излучением с длиной волны 450 нм и лазерным излучением с длиной волны 808 нм при однократном воздействии на 24 стадии эмбрионального развития в течении 60 с (каждым источником) в любой последовательности; при отсутствии светодиодных и лазерных источников оптического излучения рекомендуется осуществлять инкубацию икры в аппаратах с крышкой, выполненной из стекла органического цветного красного, покрытого поляроидной пленкой [81, 82, 84, 85, 86, 90, выписка из протокола № 1 от 09.01.2017 г. заседания секции животноводства научно-технического совета Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, акты и справки о практическом использовании результатов исследований за 2014 – 2019 гг. в УО БГСХА г. Горки, в фермерском хозяйстве «Василек» Дзержинского р-на, в ООО «Фирма Ремона» г. Могилева, в ОАО (КПУП) «Форелевое хозяйство «Лохва», в АО «Головной институт по проектированию объектов и предприятий рыбного хозяйства» г. Москвы].

4. Для повышения эффективности технологии производства посадочного материала осетровых и лососевых видов рыб в рыбоводных промышленных комплексах Беларуси, а также при создании новых рыбоводных промышленных комплексов необходимо учитывать рекомендации проекта международной технической помощи «Инновационные методы и технологии устойчивого развития аквакультуры в регионе Балтийского моря» (AQUABEST – Innovative practices and technologies for developing sustainable aquaculture in the Baltic Sea region) в части создания канальных УЗВ датского типа [83, акт о передаче научно-технической продукции в SIA «Akva Ferma» (Рига, Латвия) от 26.03.2015 г.].

#### **Социальный эффект результатов исследований**

Результаты исследований внедрены в образовательный процесс по специальности 1-74 03 03 «Промышленное рыбоводство» в рамках дисциплин «Искусственное воспроизводство рыб» и «Аквакультура ценных видов рыб и ресурсосберегающие технологии» (Барулин, Н. В. Аквакультура ценных видов рыб и ресурсосберегающие технологии. В 3 ч. Ч. 1. Форелеводство : учебно-методическое пособие / Н. В. Барулин. – Горки :БГСХА, 2018. – 237 с., 5 актов о внедрении научно-исследовательской разработки в образовательный процесс за 2017 г.). Результаты исследований, нашли применение при разработке следующих нормативно-правовых документов: «Комплекс мер по развитию рыбоводства в Республике Беларусь на 2020 – 2025 годы»; «Стратегия развития аквакультуры в Республике Беларусь до 2026 года» (письмо ГО «Белводхоз» Минсельхозпрода № 04-02/1496 от 07.07.2020 г.).

## Список публикаций соискателя

### Монографии

1. Барулин, Н. В. Идентификация пола осетровых рыб по костным пластинкам / Н. В. Барулин // Монография. – Горки : БГСХА, 2017. – 408 с. – ISBN 978–985–467–727–9.
2. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах. В 2 ч. Ч. 1 / Н. В. Барулин. – Горки : БГСХА, 2018. – 268 с. ISBN 978–985–467–874–0.
3. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах. В 2 ч. Ч. 2 / Н. В. Барулин. – Горки : БГСХА, 2018. – 382 с. ISBN 978–985–467–875–7.

### Главы в монографиях

4. Barulin, N. V. Diagnostyka stanu fizjologicznego stada selektow I tarlakow sterleta (*Acipenser ruthenus* L.) w systemach recyrkulacyjnych / N. V. Barulin. – P. 197–202. // Aktualny stan I ochrona naturalnych populacji ryb jesiotrowatych *Acipenseridae*; pod redakcja : Ryszarda Kolmana. – Olsztyn, Polska: Instytut Rybactwa Srodladowego, 2014. – 253 p. – ISBN 978–83–60111–74–1.
5. Нильсен, П. Глава 20 – Рыбоводно–технологическое обоснование внедрение датских рециркуляционных систем в аквакультуру Беларуси / П. Нильсен, М. Наукарайнен, Н. Барулин, А. Йокумсен, К. Шумский. – С. 250–403 // Инновационные методы и технологии устойчивого развития аквакультуры в регионе Балтийского моря : монография ; под общей редакцией Н. В. Барулина. – Минск : Экоперспектива, 2016. – 415 с. – ISBN 978–985–469–561–7. doi: 10.13140/RG.2.2.16290.63685.

### Статьи в изданиях, включенных в перечень научных изданий ВАК

6. Шалак, М. В. Новые направления в развитии индустриального рыбоводства Беларуси / М. В. Шалак, Н. В. Барулин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 1. – С. 96–98.
7. Барулин, Н. В. Гибрид *Acipenser gueldenstaedti* x *Acipenser baeri* – перспективный объект аквакультуры осетровых / Н. В. Барулин, Р. А. Мамедов, А. И. Лашкевич // Вопросы рыбного хозяйства : сборник научных трудов / РУП «Институт рыбного хозяйства» ; гл. редактор М. М. Радько. – Минск : РУП «Институт рыбного хозяйства», 2008. – Вып. 24. – С. 46–51.

8. Plavskii, V. Yu. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on fish embryos / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin // *Journal of Applied Spectroscopy*. – 2008. – Vol. 75, № 6. – P. 843–856. – doi: 10.1007/s10812-009-9123-0

9. Барулин, Н. В. Влияние излучения сверхярких светодиодов на развитие молоди осетровых рыб / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / РУП "Институт рыбного хозяйства", РУП "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству"* ; под.общ. ред. М. М. Радько. – Минск : РУП "Институт рыбного хозяйства", 2009. – Вып. 25. – С. 43–49.

10. Барулин, Н. В. Применение лазерного излучения низкой интенсивности в технологии воспроизводства осетровых рыб / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / РУП "Институт рыбного хозяйства", РУП "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству"*, Белорусский государственный университет ; под. общ. ред. М. М. Радько. – Минск : РУП "Институт рыбного хозяйства", 2009. – Вып. 25. – С. 49–56.

11. Плавский, В. Ю. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / РУП "Институт рыбного хозяйства", РУП "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству"*, Белорусский государственный университет ; под. общ. ред. М. М. Радько. – Минск : РУП "Институт рыбного хозяйства", 2009. – Вып. 25. – С. 56–63.

12. Plavskii, V. Y. Chapter 1 – Fish Embryos as Model for Research of Biological Activity Mechanisms of Low Intensity Laser Radiation / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin. – P. 1–47 // *Advances in Laser and Optics Research*. – Vol. 4 ; Editors : William T. Arkin – New York, USA : Nova Science Publishers, Inc., 2010. – Vol. 4. – 264 p. – ISBN: 978-1-60741-854-2.

13. Plavskii, V. Y. Investigation of biological activity mechanisms of low intensity optical radiation at the embryonic level / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy & Applications*. – 2010. – Vol. VI. – P. 228–233.

14. Барулин, Н. В. Рыбоводный индустриальный комплекс – будущее рыбохозяйственной деятельности Республики Беларусь / Н. В. Барулин // *Животноводство и ветеринарная медицина*. – 2012. – № 3. – С. 51–54.

15. Барулин, Н. В. Ультразвуковая диагностика осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси / Н. В. Барулин, А. П. Курдеко // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / РУП "Институт рыбного хозяйства", РУП "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству"* ; гл. редактор В. Ю. Агеец. – Минск : РУП «Институт рыбного хозяйства», 2012. – Вып. 28. – С. 30–42.

16. Barulin, N. V. Effect of Polarization and Coherence of Optical Radiation on Sturgeon Sperm Motility / N. V. Barulin, V. Yu. Plavskii // World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. – 2012. – Vol.6, №7. – P. 141–145.

17. Барулин, Н. В. Активность гепатоспецифических ферментов в сыворотке крови осетровых рыб в нерестовый период / Н. В. Барулин // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2013. – № 3 (10). – С. 29–33.

18. Барулин, Н. В. Способ повышения активности сперматозоидов самцов осетровых рыб / Н. В. Барулин, М. В. Шалак, В. Ю. Плавский // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2013. – № 3. – С. 14–18.

19. Барулин, Н. В. Диверсификация во внутренних водоемах и в аквакультуре: международная конференция в Чехии / Н. В. Барулин, Е. Г. Новикова // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2014. – № 2(13). – С. 51–54.

20. Барулин, Н. В. Комплекс диагностического мониторинга физиологического состояния ремонтно–маточных стад осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения / Н. В. Барулин // Вестник Государственной полярной академии. – 2014. – № 1 (18). – С. 19–20.

21. Барулин, Н. В. Анализ подвижности сперматозоидов гибрида бестера под влиянием оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сборник научных трудов / УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Горки : БГСХА, 2015. – Вып. 18. – В 2 ч. – Ч. 1. – С. 11–20.

22. Барулин, Н. В. Концентрация андрогенов в сыворотке крови самок ремонтно–маточного стада осетровых рыб / Н. В. Барулин, А. В. Соляник, М. В. Шалак // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2015. – № 4. – С. 14–19.

23. Барулин, Н. В. Лазерно-оптические приборы для повышения эффективности инкубации икры ценных видов рыб в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, М. В. Шалак, А. В. Соляник // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2015. – № 4. – С. 3-7.

24. Барулин, Н. В. Применение оптического излучения низкой интенсивности в технологии воспроизводства ценных объектов аквакультуры Беларуси / Н. В. Барулин // Молодежь в науке – 2014: приложение к журналу "Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі". Серия аграрных наук : в 5 ч. / Национальная академия наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2015. – Ч. 5. – С. 94–98.

25. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серия аграрных

наук. – 2015. – № 3. – С. 107–111.

26. Barulin, N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt, 1869 females and two hybrids (bestor = female *Huso huso* Linnaeus, 1758 × male *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758, and RsSs = *A. gueldenstaedtii* Brandt, 1833 × *A. baerii* Brandt, 1869) to hormonal stimulation for spawning induction / N. V. Barulin // Journal of Applied Ichthyology. – 2015. – Vol. 31 (s2). – P. 2–6. doi: 10.1111/jai.12898

27. Барулин, Н. В. Строение спинных костных пластинок взрослой стерляди в зависимости от пола / Н. В. Барулин // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2016. – № 4. – С. 8–18.

28. Барулин, Н. В. Внешние полоспецифические признаки в строении спинных жучек личинок и молоди стерляди // Н. В. Барулин // Зоотехническая наука Беларуси: сборник научных трудов / РУП "Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству" ; гл. редактор И. П. Шейко – Жодио : РУП "Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству", 2017. – Т. 52. – № 2. – С. 89–99.

29. Барулин, Н. В. Обнаружение внешних полоспецифических признаков в строении производных кориума личинок и молоди стерляди *Acipenser ruthenus* / Н. В. Барулин // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2017. – Т. 61. – № 1. – С. 119–128.

30. Барулин, Н. В. Определение пола осетровых рыб по внешним морфологическим признакам / Н. В. Барулин // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2017. – № 4. – С. 3–9.

31. Барулин, Н. В. Стратегия развития осетроводства в Республике Беларусь / Н. В. Барулин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2017. – № 2. – С. 82–90.

32. Barulin N. External sex specific signs in the structure of derivatives of sterlet (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus, 1758) corium / N. Barulin // Acta Biol. Univ. Daugavp. – 2017. – Vol. 17 (1). – P. 9–17.

33. Барулин, Н. В. Гендерные и возрастные классификационные модели и закономерности в строении жучек стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) / Н. В. Барулин // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / Республиканское дочернее унитарное предприятие "Институт рыбного хозяйства" Республиканского унитарного предприятия "Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству". – Минск : Беларуская навука, 2018. – Вып. 34. – С. 240–243.

34. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / Республиканское дочернее унитарное предприятие "Институт рыбного хо-



зйства" Республиканского унитарного предприятия "Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству". – Минск : Беларуская навука, 2018. – Вып. 34 – С. 235–239

35. Barulin, N. V. Intravital Sex Identification of Adult Sterlets *Acipenser ruthenus* (*Acipenseridae*) Based on the Morphological Structure of Dorsal Scutes / N. V. Barulin // Journal of Ichthyology. – 2018. – Vol. 58 (1). – P. 17–30. – doi: 10.1134/S0032945218010022

36. Plavskii, V. Biological effect of continuous, quasi–continuous and pulsed laser radiation / V. Plavskii, N. Barulin, M. Liman, S. Rahautsou, A. Mikulich, A. Grabtchikov, A. Vodchits, I. Khodasevich, L. Batay, A. Tretyakova, L. Plavskaya, V. Orlovich // KnE Energy & Physics. – 2018. – p. 386–393. doi 10.18502/ken.v3i2.1841

37. Barulin, N. Using machine learning algorithms to analyse the scute structure and sex identification of sterlet *Acipenser ruthenus* (*Acipenseridae*) / N. Barulin // Aquaculture Research. – 2019. – Vol. 50. – P. 2810–2825. – doi: 10.1111/are.14233

38. Plavskii, V. Y. Comparative Effect of Low-intensity Laser Radiation in Green and Red Spectral Regions on Functional Characteristics of Sturgeon Sperm / V. Plavskii, A. Mikulich, N. Barulin, T. Ananich, L. Plavskaya, A. Tretyakova, I. Leusenka // Photochemistry and Photobiology. – 2020. – Vol. 96 (6). – P. 1294–1313. – doi: 10.1111/php.13315.

39. Plavskii, V. Y. Effect of continuous wave, quasi-continuous wave and pulsed laser radiation on functional characteristics of fish spermatozoa / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin, A. V. Mikulich, A. I. Tretyakova, T. S. Ananich, L. G. Plavskaya, I. A. Leusenka, A. N. Sobchuk, V. A. Sysov, O. N. Dudinova, A. I. Vodchits, I. A. Khodasevich, V. A. Orlovich // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2021. – Vol. 216. – P. 112112. – doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.112112.

### Материалы конференций

40. Барулин, Н. В. Развитие молоди осетровых рыб под влиянием излучения сверхярких светодиодов / Н. В. Барулин // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов "Вклад молодых ученых в развитие инноваций аграрной науки" : сборник статей, 23-24 апреля 2009 г., Москва / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : Издательство РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2009. – С. 453–457.

41. Барулин, Н. В. Лазерно–оптические технологии в воспроизводстве и выращивании осетровых рыб / Н. В. Барулин // Молодежь и инновации – 2009: Материалы Международной научно–практической конференции молодых ученых. В 2–х ч., 3-5 июня 2009 г., Горки / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; гл. ред. А. П. Курдеко. – Горки : Белорусская госу-

дарственная сельскохозяйственная академия, 2009. – Ч. 1. – С. 274–276.

42. Барулин, Н. В. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб / Н. В. Барулин // «Биоэкология и ресурсосбережение» : материалы VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, 21-22 мая 2009 г., Витебск / Витебская гос. академ. вет. медицины ; ответст. ред. : А. И. Ятусевич. – Витебск : ВГАВМ, 2010 – С. 12–13.

43. Барулин, Н. В. Установка для инкубации икры на основе лазерно-оптических технологии / Н. В. Барулин // Молодежный инновационный форум «ИНТРИ – 2010» : материалы секционных заседаний, 29-30 ноября 2010 г., Минск / Гос. комитет по науке и технологиям ; под общ.ред. И. В. Войтова. – Минск, 2010. – С. 110–111.

44. Плавский, В. Ю. Влияние лазерного излучения различных длин волн на развитие молоди рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // VIII Международная научная конференция «Лазерная физика и оптические технологии» : сб. науч. тр. конф. в 2 томах, 27-30 сентября 2010 г., Минск / ; под ред. В. А. Орловича [и др.]. – Минск. – 2010. – Т. 1. – С. 147–150.

45. Барулин, Н. В. Влияние комбинированного воздействия оптическим излучением на развитие предличинок осетровых рыб / Н. В. Барулин // Молодежь и инновации – 2011 : материалы Международной научно-практической конференции, 25-27 мая 2011 г., Горки / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Совет молодых ученых ; ред. А. П. Курдеко. – Горки, 2011. – С. 391–394.

46. Барулин, Н. В. Влияние комбинированного воздействия оптическим излучением на развитие молоди рыб / Н. В. Барулин // Молодежь и инновации – 2011 : материалы Международной научно-практической конференции, 25-27 мая 2011 г., Горки / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Совет молодых ученых ; ред. А. П. Курдеко. – Горки, 2011. – С. 386–389.

47. Барулин, Н. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на репродуктивную функцию осетровых рыб в условиях индустриального рыбоводства / Н. В. Барулин // Исследования молодых ученых : материалы X Международной научно-практической конференции "Аграрное производство и охрана природы", 26-27 мая 2011 г., Витебск / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования "Витебская государственная академия ветеринарной медицины" ; ред. А. И. Ятусевич [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2011. – С. 10–11.

48. Барулин, Н. В. Реализация проекта AQUABEST в условиях аквакультуры Беларуси / Н. В. Барулин // Современные технологии сельскохозяйственного производства : XVI международная научно-практическая конференция : материалы конференции, 17 мая, 7 июня 2013 г., Гродно / Министерство сельского

хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования "Гродненский государственный аграрный университет" ; отв. ред. В. В. Пешко. – Гродно : ГГАУ, 2013. – С. 326–327.

49. Барулин, Н. В. Активность аминотрансфераз в сыворотке крови осетрообразных раб в условиях аквакультуры / Н. В. Барулин // Молодежь и инновации – 2013 : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, 29-31 мая 2013 г., Горки : в 4 ч. Ч. 3 / Учреждение образования "Белорусская государственная сельскохозяйственная академия", Совет молодых ученых ; ред. А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2013. – С. 158–160.

50. Барулин, Н. В. Гепатоспецифические механизмы регулирования воспроизводительной функции осетровых рыб в условиях аквакультуры / Н. В. Барулин // Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб : материалы докладов 2-й Международной научной конференции, 16-18 апреля 2013 г., Санкт – Петербург / Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озёрного и речного рыбного хозяйства» ; ред. В. А. Шашуловский [и др.]. – Санкт – Петербург : ГосНИОРХ, 2013. – С. 45–46.

51. Барулин, Н. В. Значение программы AQUABEST в развитии аквакультуры и воспроизводства ценных видов рыб Беларуси / Н. В. Барулин // Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб : материалы докладов 2-й Международной научной конференции, 16-18 апреля 2013 г., Санкт – Петербург / Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озёрного и речного рыбного хозяйства» ; ред. В. А. Шашуловский [и др.]. – Санкт – Петербург : ГосНИОРХ, 2013. – С. 47–48.

52. Барулин, Н. В. Инновационные методы и технологии развития аквакультуры в регионе Балтийского моря / Н. В. Барулин, Т. П. Юрченко // Молодежь и инновации – 2013 : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, 29-31 мая 2013 г., Горки : в 4 ч. Ч. 3 / Учреждение образования "Белорусская государственная сельскохозяйственная академия", Совет молодых ученых ; ред. А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2013. – С. 3–5.

53. Барулин, Н. В. Ультразвуковая диагностика пола осетровых рыб в условиях аквакультуры / Н. В. Барулин // Молодежь и инновации – 2013 : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, 29-31 мая 2013 г., Горки : в 4 ч. Ч. 3 / Учреждение образования "Белорусская государственная сельскохозяйственная академия", Совет молодых ученых ; ред. А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2013. – С. 160–163.

54. Барулин, Н. В. Ультразвуковые исследования производителей и ремонтно-маточных стад осетровых рыб / Н. В. Барулин // Исследования молодых ученых : материалы XII Международной конференции молодых ученых "Наука

и природа", 31 мая 2013 г., Витебск / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования "Витебская государственная академия ветеринарной медицины" ; под общ. ред. А. И. Ятусевич. – Витебск : ВГАВМ, 2013. – С. 14–15 .

55. Barulin, N. Lazerio spinduliuotės naudojimas erškėtinių žuvų veisimo srityje / N. Barulin, V. Plavsky // Erškėtinės žuvis. Praeitis, dabartis ir ateitis : Materials of the International Conference, 15-16.10.2014, Trakai / Žuvininkystės tarnyba – Vilnius. – 2014. – P. 56–58.

56. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: материалы XVIII Международной научно–практической конференции, посвященной 85–летию зооинженерного факультета и 175–летию УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 28-29 мая 2015 г., Горки / УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». – Горки : БГСХА, 2015. – С. 268–272.

57. Plavskii, V. Yu. Biological activity of low–intensity continuous, quasi–continuous and pulsed laser radiation of nano– and picosecond ranges / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin, A. V. Mikulich, A. I. Vodchits, I. A. Khadasevich, L. E. Batay, A. S. Grabchikov, A. I. Tretyakova, L. G. Plavskaya, V. A. Orlovich // Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. – Т. 83, № 6–16 : Materials of the International Conference on Coherent and Nonlinear Optics and International Conference on Lasers, Applications, and Technologies (ICONO/LAT 2016) September 26–30, 2016, Minsk, Belarus. – С. 717–718.

58. Барулин, Н. В. Обнаружение внешних полоспецифических признаков в строении производных кориума личинок и молоди стерляди / Н. В. Барулин // Аквакультура осетровых рыб: проблемы и перспективы : сборник статей Международной научно-практической конференции, 10–12 октября 2017 г., г. Астрахань / сост. : С. С. Астафьева, Н. В. Судакова, К. А. Ветрова, С. А. Гуцуляк. – Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2017. – С. 50–52.

59. Барулин, Н. В. Внешние полоспецифические признаки в строении производных кориума стерляди / Н. В. Барулин // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : материалы XX Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию образования кафедр крупного животноводства и переработки животноводческой продукции; свиноводства и мелкого животноводства : в 2 ч. Ч. 1, 1-2 июня 2017 г., Горки / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; редкол.: А. И. Портной (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2017. – С. 13–17.

60. Barulin, N. V. External sex specific signs in the structure of derivatives of star-

let corium / N. V. Barulin // 2<sup>nd</sup> International Aquaculture Conference “Recirculating Aquaculture System (RAS) : Life Science and Technologies” (2017.05.04). 8<sup>th</sup> General Assembly Meeting “Network of Aquaculture Centres in Central and Eastern Europe (NACEE)”. 2017.05.05. – Daugavpils : Daugavpils University Academic Press “Saule”. – 2017. – p. 11–12.

61. Плавский, В.Ю. Фотоакцепторы и фотофизические механизмы, определяющие изменение функциональных характеристик сперматозоидов при воздействии излучения видимой области спектра / В. Ю. Плавский, А. В. Микулич, А. И. Третьякова, Н. В. Барулин, Л. Г. Плавская, Т. С. Ананич, И. А. Леусенко // Лазеры в науке, технике, медицине : Сборник научных трудов XXXI Международной конференции, Москва, 28–30 октября 2020 года / Под редакцией В. А. Петрова. – Москва: Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2020. – С. 220-224.

### Тезисы докладов

62. Plavskii, V. Yu. Develop methods to increase the biological activity of the low intensity optical radiation / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin // XIX Belarussian – Lithuanian seminar «Lasers and optical nonlinearity» : program and book of abstract, 16-18.05.2011, Minsk, Belarus / B. I. Stepanov Institute of Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2011. – P. 17.

63. Barulin, N. V. Effect of low-level optical irradiation on sturgeon sperm motility / N. V. Barulin, V. Yu. Plavskii // AQUA 2012. World Aquaculture Society Meetings : book of abstracts, 2-5 September, 2012, Prague / World Aquaculture Society. – Prague. – 2012. – P. 420.

64. Barulin, N. V. Influence of LED-radiation red region on toxicity of larva sturgeon fishes / N. V. Barulin, V. Yu. Plavskii // 10<sup>th</sup> International Congress on the Biology of Fish : books of abstracts, July 15-19, 2012, Madison, Wisconsin, USA / Madison, Wisconsin. – 2012. – P. 7.

65. Barulin, N. V. Influence of low intensity laser radiation on reproductive function of sturgeon fish / N. V. Barulin, V. Y Plavskii // 14<sup>th</sup> Congress of the International Society for Behavioral Ecology : book of program and abstracts, 12-18 August 2012, Lund, Sweden / Lund University. – Lund. – 2012. – P. 264.

66. Barulin, N. V. Serum biochemical and steroid hormones parameters of sturgeon females in recirculating aquaculture system / N. V. Barulin, A. P. Kurdeko // 10<sup>th</sup> International Congress on the Biology of Fish : books of abstracts, July 15-19, 2012, Madison, Wisconsin, USA / Madison, Wisconsin. – 2012. – P. 7.

67. Plavskii, Vitaly Development of recirculating aquaculture systems for cultivation of salmon in Belarus / Vitaly Plavskii, Nikolai Barulin, Konstantin Shumskii // 6<sup>th</sup> World Fisheries Congress : book of abstract, 7-11 May 2012, Edinburgh, Scot-

land. – Edinburgh, Scotland. – 2012. – P. 181.

68. Barulin, N. Effect of low-level optical irradiation on sturgeon sperm motility / N. Barulin, V. Plavskii // «Diversification in inland finfish aquaculture (DIFA II)» : book of program and abstracts of scientific workshop, September 24-26, 2013, Vodňany, Czech Republic / Faculty of Fisheries and Protection of Waters, University of South Bohemia in České Budějovice ; edited by: Martin Pšenička [et al.]. – Vodňany, 2013. – P. 74.

69. Barulin, N. Serum aminotransferase activity of sturgeon broodstock in recirculating aquaculture systems / N. Barulin, A. Kurdeko // «Diversification in inland finfish aquaculture (DIFA II)» : book of program and abstracts of scientific workshop, September 24-26, 2013, Vodňany, Czech Republic / Faculty of Fisheries and Protection of Waters, University of South Bohemia in České Budějovice ; edited by : Martin Pšenička [et al.]. – Vodňany, 2013. – P. 101.

70. Barulin, N. V. Serum aminotransferase activity of sturgeon fish in aquaculture of Belarus / N. V. Barulin // Books of abstracts the annual meeting of the European Aquaculture Society «Aquaculture Europe 2013», 10-12 August 2013, Trondheim, Norway / European Aquaculture Society. – Trondheim. – 2013. – P. 103.

71. Barulin, N. Použití laserového záření v akvakultuře jeseterovitých / N. Barulin, V. Plavskii // 14. Česká rybářská a ichtyologická konference : Sborník abstraktů, 1-3. 10. 2014, Vodňany / Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích ; Editoři: Jan Kouřil, Peter Podhorec, Zuzana Dvořáková. – Vodňany, 2014. – P. 18.

72. Barulin, N. V. Diagnostics of the physiological state of the female and male sterlet (*Acipenser ruthenus*) in recirculation systems / N. V. Barulin // Actual status and conservation of natural populations of sturgeon fish *Acipenseridae* : book of program and abstracts of scientific conference, April 8-11, 2014, Ogonki near Gizycko / Instytut Rybactwa Śródlądowego. – Olsztyn, 2014. – P. 31.

73. Plavskii, V. Yu. Regulatory biological action of continuous, quasi-continuous and pulsed laser radiation of nano- and picosecond ranges / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin, A. I. Vodchits, I. A. Khadasevich, L. E. Batay, A. S. Grabchikov, A. I. Tretyakova, L. G. Plavskaya, A. V. Mikulich, V. A. Orlovich // Abstract of The 8<sup>th</sup> International conference on photonics and applications : book of abstracts and program, 12-16 August 2014, Danang, Vietnam / Vietnam Academy of Science and Technology. – Danang, 2014. – P. 222.

74. Plavskii, V. Yu. Regulatory biological action of continuous, quasi-continuous and pulsed laser radiation of nano- and picosecond ranges / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin, A. I. Vodchits, I. A. Khadasevich, L. E. Batay, A. S. Grabchikov, A. I. Tretyakova, L. G. Plavskaya, A. V. Mikulich, V. A. Orlovich / 18<sup>th</sup> International School on Quantum Electronics “Laser physics and applications” : books of abstracts, 29 September – 3 October 2014, Sozopol, Bulgaria / The Institute of Electronics at the Bulgarian Academy of Sciences. – Sozopol, 2014. – P. 89.

75. Плавский, В. Ю. Биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности на гидробионты: зависимость от режимов воздействия и спектрального диапазона излучения / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин, А. И. Водчиц, И. А. Ходасевич, Л. Е. Батай, А. С. Грабчиков, А. И. Третьякова, Л. Г. Плавская, А. В. Микулич, В. А. Орлович // Материалы V съезда биофизиков России, 4-10 октября 2015 г., Ростов–на–Дону / Южный федеральный университет. – Ростов–на–Дону, 2015 – С. 171.

76. Плавский, В. Ю. Закономерности совместного действия лазерного излучения и постоянного магнитного поля на сперму рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин, С. Б. Бушук, Н. С. Казак // Материалы V съезда биофизиков России, 4-10 октября 2015 г., Ростов–на–Дону / Южный федеральный университет. – Ростов–на–Дону, 2015 – С. 172.

77. Плавский, В. Ю. Реакция клеток животных на воздействие непрерывного, и импульсного лазерного излучения / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин, А. И. Водчиц, И. А. Ходасевич, А. С. Грабчиков, Л. Е. Батай, Л. Г. Плавская, А. И. Третьякова, А. В. Микулич, Т. С. Капская, В. А. Орлович // Научно–практическая конференция с международным участием «Применение лазеров в медицине. Фотодинамическая терапия», 20 октября 2016 г., Москва. – Лазерная медицина. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 97.

78. Barulin N. V. Laser–optical devices for incubation of sturgeon eggs in aquaculture / N. V. Barulin, V. Y. Plavskii // Book of Abstract International sturgeon meeting ISM – 2016. 01 – 05 June 2016, Krasnodar. – P. 47.

79. Plavskii, V. Photobiological action of lasers working in different modes on hydrobionts / V. Plavskii, N. Barulin, M. Liman, S. Rahautsou, A. Mikulich, A. Grabchikov, A. Vodchits, I. Khodasevich, L. Batay, A. Tretyakova, L. Plavskaya, V. Orlovich // 17<sup>th</sup> Congress European Society for Photobiology : program and book of abstract, 4–8 September 2017 , Pisa, Italy. – Pisa, 2017 – P. 139.

80. Плавский, В.Ю. Сравнительное действие низкоинтенсивного лазерного излучения зеленой и красной областей спектра на функциональные характеристики спермы осетровых рыб / В. Ю. Плавский, А. В. Микулич, Н. В. Барулин, Т. С. Ананич, А. Н. Собчук, А. И.Третьякова, Л. Г. Плавская, И. А. Леусенко // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем : Тезисы докладов международной научной конференции, Четырнадцатого съезда Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 17–19 июня 2020 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2020. – С. 86.

### Рекомендации

81. Барулин, Н. В. Рекомендации по воспроизводству осетровых рыб в рыбноводных индустриальных комплексах с применением инновационных методов /

Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, К. Л. Шумский, Л. О. Атрощенко, Е. Г. Новикова, С. В. Роговцов, М. С. Лиман – Горки : БГСХА, 2016. – 204 с.

82. Барулин, Н. В. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами) / Н. В. Барулин, М. С. Лиман, Е. Г. Новикова, К. Л. Шумский, Л. О. Атрощенко, С. В. Роговцов, Н. А. Суровец, А. В. Некрылов, В. Ю. Плавский. – Горки : БГСХА, 2016. – 180 с.

83. Aquabest recommendations. Developing responsible aquaculture in the Baltic Sea Region / U. Eskelinen, P. Heinimaa, M. Perkonoja, I.-L. Paavola, A. Ekroos, K. Relve, H. Veinla, V. Leskinen, K. Saarni, P. Granholm, J. Andersson, A. Eriksson, J. Bonardelli, M. Deurs, E. Olofsson, K. Henriksson, C. Lundberg, M. Kankainen, J. Nuikko, V. Tarkii, A. Ringberg, R. Mikalsen, K. Tajani, T. Hedlund, A. Alanära, D. Wikberg, M. Ekegerd, D. Abrahamsson, O. Lindahl, A. Kiessling, T. Lindholm, R. Broström, M. Futter, H. Markensten, T. Vrede, H. Carlberg, E. Brännäs, T. Lundh, J. Pickova, A. Kiessling, A. Danwitz, C. Schulz, J. Bomberg, O. Norrdahl, M. Olstorpe, V. Passotha, J. Lilja, E. Jaala, J. Raitaniemi, A. Lappalainen, P. Nielsen, O. Järvisalo, A. Jokumsen, M. Naukkarinen, A. Roze, N. Barulin, L.-F. Pedersen// Finish Game and Fisheries Research Institute. – Helsinki. – 2014. – P. 19.

### Патенты

84. Плавский, В. Ю. Способ стимуляции размерно–весовых показателей молоди осетровых рыб : пат. 12358 Респ. Беларусь, МПК (2006) А 01К 61/00 / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин, А. И. Лашкевич; заявитель Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси. – № а 20080532 ; заявл. 2008.04.22 ; опубл. 2009.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

85. Плавский, В. Ю. Установка для инкубации икры : пат. 2 384 056 С1 Российская Федерация, МПК А 01К 61/00 (2006.01) / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин; заявитель Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – № 2009100427/12; заявл. 11.01.2009 ; опубл. 20.03.2010. // Бюл. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2010. – №8.

86. Плавский, В. Ю. Установка для инкубации икры : полезная модель 5347 Респ. Беларусь, МПК (2006) А 01К 61/00 / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин; заявитель Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – № u 20080926 ; заявл. 2008.12.16 ; опубл. 2009.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

87. Плавский, В. Ю. Способ повышения репродуктивных качеств производителей осетровых рыб : пат. 14700 Респ. Беларусь, МПК А 01К 61/00 (2006.01), А 61N 5/067 (2006.01) / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин ; заявитель Институт



физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – № а 20090922 ; заявл. 2009.06.24 ; опубл. 2011.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 59.

88. Плавский, В. Ю. Способ обработки спермы осетровых рыб : пат. 18585 Респ. Беларусь, МПК А 61D 19/02 (2006.01), А 01К 61/00 (2006.01) / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин ; заявитель Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – № а 20111196 ; заявл. 2011.09.12 ; опубл. 2013.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2. – С. 5.

89. Плавский, В. Ю. Способ повышения активности сперматозоидов самца осетровой рыбы : пат. 17418 Респ. Беларусь, МПК А 01К 61/00 (2006.01) / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин ; заявитель Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – № а 20101759 ; заявл. 2010.12.06 ; опубл. 2012.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С. 60.

90. Плавский, В. Ю. Устройство для инкубации икры рыб: пат. 21496 Респ. Беларусь, МПК (2017.01) А 01К 61/00/ В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин ; заявитель Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Белорусская ГСХА. – № а 20150277 ; заявл. 2015.05.18 ; опубл. 2016.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 6. – С. 46.

### Другие научные издания

91. Барулин, Н. В. Осетровые рыбы как объект для исследования механизмов биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Осетровое хозяйство – 2009. – № 3. – С. 34–45.

92. Лашкевич, А. И. Первый опыт повторного получения икры от русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* в Беларуси / А. И. Лашкевич, Н. В. Барулин // Осетровое хозяйство – 2009. – № 3. – С. 13–16.

93. Плавский, В. Ю. Фотофизические процессы, определяющие биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 6. – С. 23–40.

94. Шалак, М. В. Перспективы использования лазерного излучения низкой интенсивности в заводском осетроводстве / М. В. Шалак, В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2010 – № 1. – С. 38–41.

95. Плавский, В. Ю. Биологическое и терапевтическое действие оптического излучения низкой интенсивности / В. Ю. Плавский, Г. Р. Мостовникова, Н. В. Барулин, Л. Г. Плавская, А. И. Третьякова, А. В. Микулич, И. А. Леусенко, А. В. Мостовников // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. – 2014. – № 1. – С. 82–97.

96. Плавский, В. Ю. Инновационные методы повышения эффективности низкоинтенсивной лазерной терапии в свете современных представлений о фотофизическом механизме биологической активности оптического излучения / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин, Л. Г. Плавская, А. И. Третьякова, А. В. Микулич, Н. С. Сердюченко, В. С. Улащик // Инновационные технологии в медицине. – 2014. – № 2 (3). – С. 12–43.

97. Барулин, Н. В. Светлое будущее черной икры / Н. В. Барулин // Белорусское сельское хозяйство. – 2014. – № 1. – С. 52–55.

98. Барулин, Н. В. Стратегия развития осетроводства в Беларуси / Н. В. Барулин // Наше сельское хозяйство. – 2020. – № 18(242). – С. 80–83.

99. Барулин, Н. Интенсивная аквакультура / Н. Барулин // Наука и инновации. – 2021. – № 8(222). – С. 36–40.

100. Nielsen, P. Feasibility case study in Belarus on the feasibility of Danish recirculation technology / P. Nielsen, M. Naukkarinen, A. Roze, N. Barulin, A. Jokumsen. – Helsinki, Finland: Finnish Game and Fisheries Research Institute, 2014. – 95 p. – ISBN 978–952–303–091–6. doi: 10.13140/RG.2.1.1350.0882

## РЭЗІЮМЭ

### Барулін Мікалай Валер'евіч

#### **Навукова-практычнае абгрунтаванне новых тэхналагічных спосабаў вытворчасці пасадкавага матэрыялу ласасёвых і асятровых рыб**

Аквакультура, асятровыя, ласосевыя, ікра, нізкаінтэнсіўнае аптычнае выпраменьванне, святлодыёды, лазеры, магніт, устаноўкі для інкубацыі ікры, сперма, эмбрыёны, лічынкі, рыбапасадачны матэрыял, рамонтны статак, племянны статак, дыягностыка полу, фертыльнасць, сыватка крыві, печань, ганады, нераст, размнажэнне, развядзенне, рыбаходныя індустрыяльныя комплексы, устаноўкі замкнёнага водазабеспячэння.

**Мэта работы** складалася ў распрацоўцы тэарэтычнага і навукова-практычнага абгрунтавання павышэння эфектыўнасці тэхналогіі вытворчасці пасадкавага матэрыялу каштоўных відаў рыб у рыбаходных індустрыяльных комплексах.

**Метады даследаванняў:** іхтыялагічныя, гідрахімічныя, біяхімічныя, імуналагічныя, гісталагічныя, ультрагукавыя, аптычныя, спектрафотаметрычныя, статыстычныя, кампутарныя, метады глыбокага машыннага навучання, рыбаходна-біялагічныя.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Створаны устаноўкі для інкубацыі ікры (эмбрыёнаў) рыб, якія стымулююць гаспадарча-карысныя якасці рыбапасадачнага матэрыялу. Усталяваны заканамернасці ў экстер'ернай будове вытворных корыума асятровых рыб і атрыманы на іх аснове прынцыпова новыя навуковыя вынікі, якія стварылі метадалагічныя асновы для распрацоўкі новай сістэмы ранняй дыягностыкі полу прадстаўнікоў сямейства асятровых для племянной працы. Упершыню ў Беларусі складзены атлас эхаграфічных здымкаў развіцця ганад асятровых рыб, якія культывуюцца ў аквакультуры Беларусі. Складзены гарманальны і біяхімічны рэпрадуктыўны профіль асятровых рыб, якія культывуюцца ў аквакультуры, а таксама выяўлена залежнасць племянных якасцяў асятровых ад змены канцэнтрацыі гармонаў, актыўнасці гепатаспецыфічных ферментаў, метабалітаў бялковага і мінеральнага абменаў.

Распрацаваны новыя спосабы: павышэння размерна-вагавых паказчыкаў і выжывальнасці рыбапасадачнага матэрыялу асятровых рыб за кошт выкарыстання святлодыёднага і лазернага выпраменьвання нізкай інтэнсіўнасці; стымулявання племянных якасцяў вытворцаў асятровых рыб за кошт выкарыстання нізкаінтэнсіўнага аптычнага выпраменьвання.

**Галіна выкарыстання:** рыбаходныя арганізацыі, арганізацыі, якія ажыццяўляюць кіраванне і рэгуляванне ў галіне рыбагаспадарчай дзейнасці; у навучальным працэсе пры падрыхтоўцы спецыялістаў зоаветэрынарнага і біялагічнага профілю.

**РЕЗЮМЕ**  
**Барулин Николай Валерьевич**

**Научно-практическое обоснование новых  
технологических способов производства посадочного материала лососевых  
и осетровых рыб**

Аквакультура, осетровые, лососевые, икра, низкоинтенсивное оптическое излучение, светодиоды, лазеры, магнит, установки для инкубации икры, сперма, эмбрионы, личинки, рыбопосадочный материал, ремонтное стадо, племенное стадо, диагностика пола, фертильность, сыворотка крови, печень, гонады, нерест, размножение, разведение, воспроизводство, рыбоводные индустриальные комплексы, установки замкнутого водоснабжения.

**Цель работы** заключалась в разработке теоретического и научно-практического обоснования повышения эффективности технологии производства посадочного материала ценных видов рыб в рыбоводных индустриальных комплексах.

**Методы исследований:** ихтиологические, гидрохимические, биохимические, иммунологические, гистологические, ультразвуковые, оптические, спектрофотометрические, статистические, компьютерные, методы глубокого машинного обучения, рыбоводно-биологические.

**Полученные результаты и их новизна.** Впервые созданы установки для инкубации икры (эмбрионов) рыб, стимулирующие хозяйственно-полезные качества рыбопосадочного материала. Установлены закономерности в экстерьерном строении производных кориума осетровых рыб и получены на их основе принципиально новые научные результаты, создавшие методологические основы для разработки новой системы ранней диагностики пола представителей семейства осетровых для племенной работы. Впервые в Беларуси составлен атлас эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси. Составлен гормональный и биохимический репродуктивный профиль осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре, а также обнаружена зависимость племенных качеств осетровых от изменения концентрации гормонов, активности гепатоспецифических ферментов, метаболитов белкового и минерального обменов. Разработаны новые способы: повышения размерно-весовых показателей и выживаемости рыбопосадочного материала осетровых рыб за счет использования светодиодного и лазерного излучения низкой интенсивности; стимулирования племенных качеств производителей осетровых рыб за счет использования низкоинтенсивного оптического излучения.

**Область применения:** рыбоводные организации, организации осуществляющие управление и регулирование в области рыбохозяйственной деятельности; в учебном процессе при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля.

**SUMMARY**  
**Barulin Nikolai V.**

**Scientific and practical justification of new  
technological methods for production of fry material for salmon and sturgeon  
fish**

Aquaculture, sturgeon, salmon, fish eggs, low-intensity optical radiation, LED, lasers, magnet, eggs incubation devices, sperm, embryos, larvae, fingerlings, breeding herd, sex diagnostics, fertility, blood serum, liver, gonads, spawning, breeding, reproduction, hatchery industrial complexes, recirculating aquaculture systems.

**The purpose of the work (objective):** develop a theoretical and scientific-practical substantiation for increasing the efficiency of the fry production technology of valuable fish species in fish-breeding industrial complexes.

**Methods of research:** ichthyological, hydrochemical, biochemical, immunological, histological, ultrasonic, optical, spectrophotometric, statistical, computer, deep machine learning methods, fish-breeding and biological.

**The results obtained and their novelty.**

For the first time, installations for the incubation of fish eggs (embryos) have been created, stimulating the economically useful qualities of fish fry. Regularities in the exterior structure of sturgeon corium derivatives have been established and fundamentally new scientific results have been obtained on their basis, which have created methodological foundations for the development of a new system for sex early diagnosis of the all sturgeon family for breeding work. For the first time in Belarus, an atlas of echographic images of the sturgeon gonads development that cultivated in the aquaculture of Belarus has been compiled. The hormonal and biochemical reproductive profile of sturgeons cultivated in aquaculture was compiled, and the dependence of the breeding qualities of sturgeons on changes in the concentration of hormones, the activity of hepatospecific enzymes, metabolites of protein and mineral metabolism was found. New methods have been developed: to increase the size and weight parameters and survival of sturgeon fish fry through the use of LED and low-intensity laser radiation; stimulating the breeding qualities of sturgeon bloodstock through the use of low-intensity optical radiation.

**Area of application:** aquaculture farms, organizations managing and regulating of aquaculture activities; the educational process in the training of animal husbandry, veterinarian and biological specialists.

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

**Барулина Николая Валерьевича**

Подписано в печать 30.06.22. Формат 60 x 84/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать Riso.  
Усл.-печ. л. 3,14. Усл.-изд. л. 3,01.  
Тираж 60 экз. Заказ № 2202091

Издатель – Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по животноводству».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/409 от 14 августа 2014 г.  
222160, Минская обл., г. Жодино, ул. Фрунзе, 11.

Отпечатано с оригинал-макета Заказчика  
в МОУП «Борисовская укрупнённая типография им. 1 Мая».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 2/13 от 21 ноября 2013 г.  
222120, г. Борисов, ул. Строителей, 33.