МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н. В. Барулин

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Монография

В двух частях

Часть 2

Горки
БГСХА
2018

УДК 639.3:001.895

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. : ил. – ISBN 978-985-467-875-7.

Изложены научно-методологические подходы к системному подходу технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах.

Для специалистов в области ихтиологии и аквакультуры, аспирантов, магистрантов, студентов вузов, слушателей института повышения квалификации и переподготовки кадров.

Табл. 113. Ил. 387. Библиогр.: 422 назв. Прил. 3.

Печатается по решению Научно-технического совета
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Протокол № 2 от 08.02.2018 г.

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. А. Садомов;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Е. В. Таразевич

ISBN 978-985-467-875-7 (ч. 2)
ISBN 978-985-467-873-3

© Барулин Н. В., 2018
© УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2018

5. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ И ИХ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

5.1. Диагностика физиологического состояния печени ремонтно-маточных стад осетровых рыб

Черная икра является наиболее ценным продуктом, получаемым из осетровых рыб. Однако получение пищевой икры в условиях аквакультуры сталкивается с серьезными трудностями, прежде всего с физиологической готовностью самок к нересту, так как современная технология икорно-товарного осетроводства предусматривает сокращение сроков половой зрелости в 2–2,5 раза, что часто негативно сказывается на рыбоводно-биологических показателях и физиолого-репродуктивных характеристиках как производителей, так и их потомства, а это ведет к значительному ухудшению качества получаемого рыбопосадочного материала. Как известно, печень играет важную роль в процессе полового созревания рыб, при этом от работы этого органа зависит не только сроки полового созревания рыбы, но и качество получаемого потомства. Болезни печени и желчевыводящих путей широко распространены среди рыб, выращенных в условиях интенсивной аквакультуры. В решении этой проблемы современные биохимические методы исследований могут оказать весьма существенную помощь. Правильная расшифровка результатов биохимического анализа крови является важным условием формирования целесообразной стратегии лечебно-профилактических мероприятий, а также необходима в выборе технологических элементов формирования и эксплуатации икорно-маточных стад осетровых рыб.

Анализ показателей крови является одним из наиболее ценных современных методов определения физиологического состояния рыб [363, 367, 217, 365]. Гормональные и биохимические параметры сыворотки крови позволяют прижизненно выявлять патологические изменения, которые произошли в результате заболевания или другого отрицательного фактора, действующего на организм гидробионтов [196, 364, 220]. Необходимость прижизненного выявления патологических состояний, а также оперативность его коррекции обусловлена высокой ценностью ремонтных и маточных стад осетровых рыб и индивиду-

альным подходом к каждой рыбе. Вариации параметров сыворотки крови рыб не только видоспецифичны, но и зависят от пола, стадий зрелости и готовности к нересту [208, 217, 220].

В печени, как в важном органе, влияющем на созревание рыб, через гонадно-гипофизарно-гипоталамо-печеночную ось, происходит синтез белков вителлогенина (Vtg) и zona radiata (Zr) [211]. Специфический белок Vtg является структурным компонентом желткового белка и под воздействием эстрогенных гормонов транспортируется с кровью из гепатоцитов печени в яичники, где поглощается ооцитами в процессе вителлогенеза. Аномальный синтез Vtg может приводить к появлению интерсексов и индуцировать патологические изменения в семенниках, печени и почках [369]. Белки Zr входят в состав внеклеточной структуры окружающей ооцит рыб, а также являются ответственными за их нормальное оплодотворение [419].

В состав современных клинико-биохимических методов включено измерение активности некоторых ферментов сыворотки крови в качестве диагностических инструментов для оценки дисфункции органов рыб [220, 369, 367]. Для диагностики заболеваний печени используют специфические маркеры, включающие ферментный блок из аспартатаминотрансферазы (AST), аланинаминотрансферазы (ALT), щелочной фосфатазы (ALP) [363, 367, 365, 364, 196, 287, 326].

Цель работы – изучение концентрации «печеночных» ферментов и ряда других показателей обмена веществ в сыворотке крови ремонтно-маточных стад осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения.

Рыбоводно-технологический процесс получения половых продуктов от производителей осетровых рыб включает в себя ряд последовательных этапов, каждый из которых оказывает важное влияние на конечный результат. Работа с производителями включает в себя: осеннюю бонитировку, зимовку производителей, весеннюю бонитировку, преднерестовое выдерживание производителей, гормональную стимуляцию нереста производителей, получение зрелых половых продуктов. На каждом из этапов мы осуществляли гидрохимический контроль за основными параметрами водной среды (растворенный кислород в воде, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный). Как показали наши исследования, на всех этапах рыбоводно-технологического процесса получения половых продуктов гидрохимические показатели соответствовали нормативным значениям: кислород – 7,0–8,0 мг/л, азот нитритный – до 0,005–0,01 мг/л, азот аммонийный – 0,2–0,4 мг/л. Концентрация азота

нитратного в воде в период исследований составила от 30 до 50 мг/л (при нормативном значении 10 мг/л). Такая концентрация нитратов в воде является характерной для условий замкнутого водоснабжения.

В процессе наших исследований с целью стимуляции нереста производителей мы использовали суперактивный аналог гонадотропин-релизинг-гормона млекопитающих сурфагон (GnRHa), расчет дозировки которого осуществляли в зависимости от вида рыбы, температуры воды, коэффициента поляризации ооцитов, внешнего физиологического состояния. Для исследований мы отбирали внешне здоровых производителей, без аномалий в строении тела, с гармоничным телосложением.

Среднее время наступления первой овуляции при температуре 14–16 °С составило 24 часа с момента разрешающей гонадотропной инъекции. Просмотр рыб начинали в соответствии с расчетным временем созревания первых самок. Небольших рыб сгибали в латеральном направлении и оценивали степень овуляции по выделению овариальной жидкости. С целью отбора овулировавшей икры мы использовали метод надрезания яйцеводов с последующим сцеживанием икры (метод С. Б. Подушки). При использовании этого метода самке через половое отверстие вводили скальпель, направленный режущей поверхностью вверх (ширина лезвия должна быть меньше диаметра генитального отверстия оперируемой рыбы) и делали надрез длиной 1–2 см в каудальной части стенки одного или обоих яйцеводов, открывая тем самым небольшое отверстие в брюшной полости. Через полученный разрез икру сцеживали, аккуратно массируя заднюю треть брюшка.

Исследование активности аспартатаминотрансферазы (AST) ремонтно-маточного стада осетровых рыб.

Установлено, что активность AST в сыворотке крови ремонтно-маточных стад (РМС) и производителей осетровых зависит от различного физиологического состояния рыб.

Так, активность AST (рис. 5.1) у нормально созревающих ремонтно-маточных стад осетровых была на 97,0 % выше, чем у несозревающих (тугосозревающих) ($P = 0{,}0000001$).

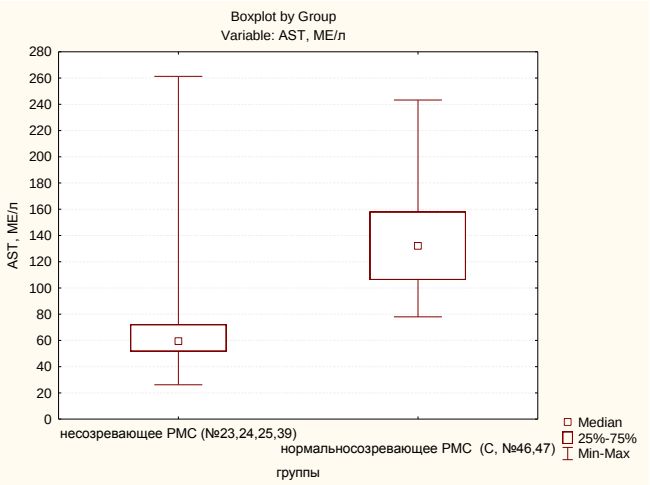


Рис. 5.1. Сравнение активности AST между несозревающим и нормально созревающим ремонтно-маточными стадами осетровых (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

Активность AST (рис. 5.2) у самок осетровых рыб, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, была в среднем на 46,7 % выше активности AST самок осетровых рыб, положительно ответившими на данную инъекцию (P = 0,006776). Эти различия зависели от вида осетровых рыб: у самок бестера (рис. 5.3), отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, активность AST была на 82,8 % выше (P = 0,016704) по сравнению с самками, положительно ответившими на данную инъекцию; у самок ленского осетра (рис. 5.4) – на 92,8 % выше (P = 0,008151).

Нами установлены достоверные различия в активности AST между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста. Так, активность AST (рис. 5.5) у производителей осетровых рыб после нереста была выше в среднем на 56,0 %, чем у нормально созревающего РМС (P = 0,001985), и на 213,2 % (рис. 5.6) выше, чем у ненормально созревающего РМС (P = 0,001985). Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию (рис. 5.7–5.10), а также имели видовые особенности (рис. 5.11–5.16).

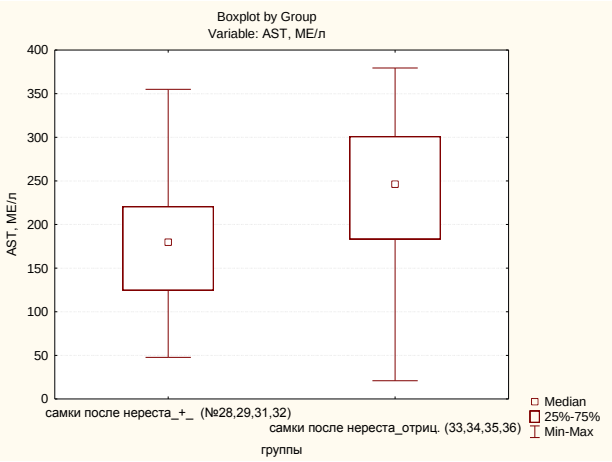


Рис. 5.2. Сравнение активности AST между самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками осетровых, отрицательно ответившими на данную инъекцию (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,006776)

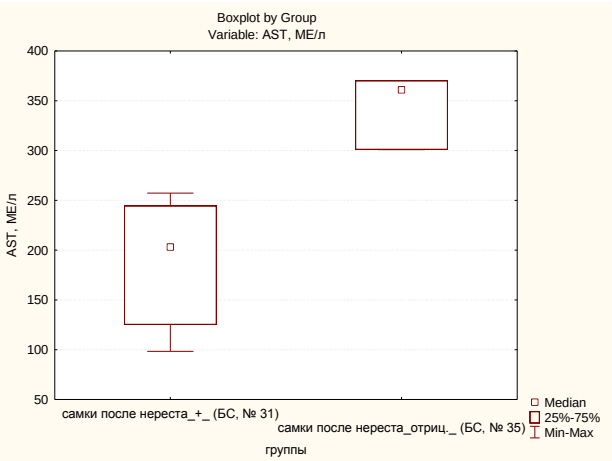


Рис. 5.3. Сравнение активности AST между самками гибрида бестера, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками гибрида бестера, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,016704)

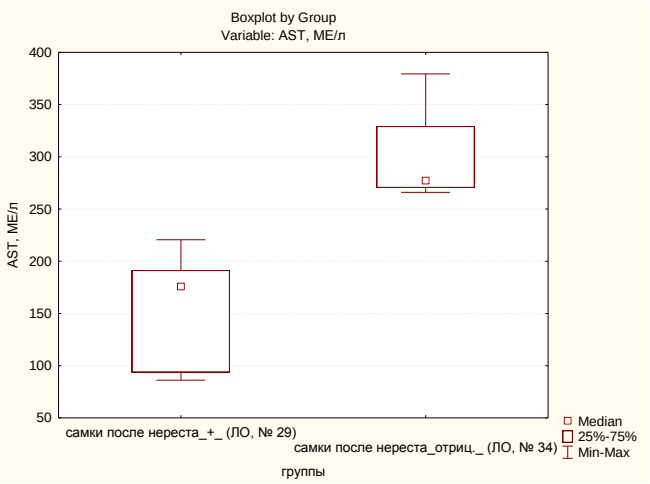


Рис. 5.4. Сравнение активности AST между самками ленского осетра, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками ленского осетра, отрицательно ответившими на данную инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,008151)

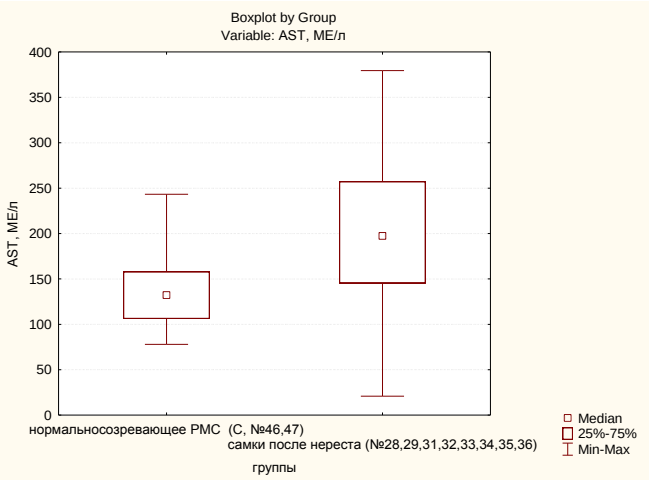


Рис. 5.5. Сравнение активности AST между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001985)

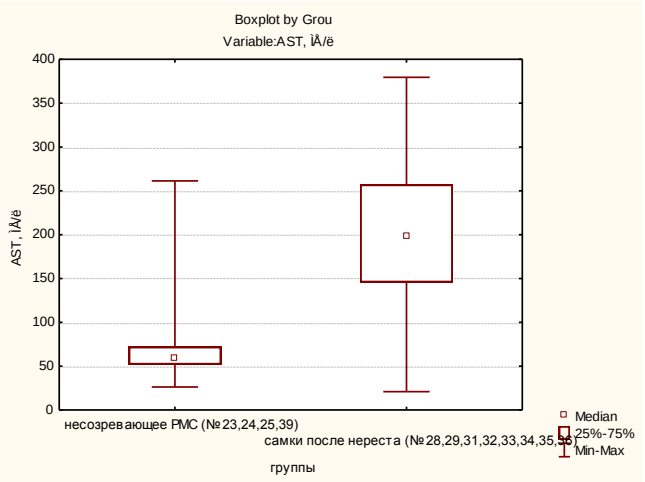


Рис. 5.6. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

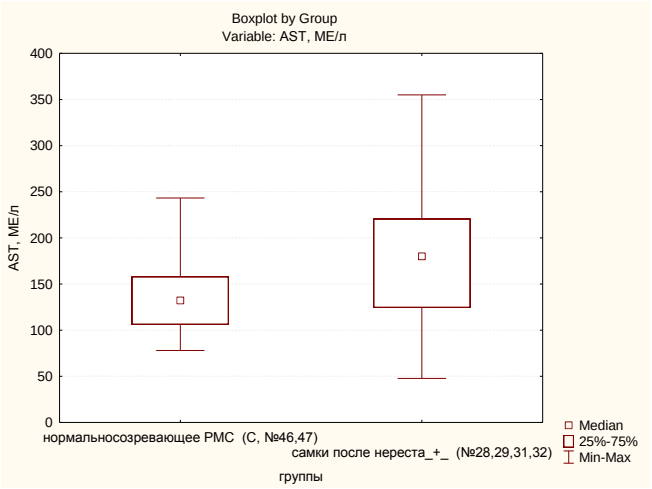


Рис. 5.7. Сравнение активности AST между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,041052)

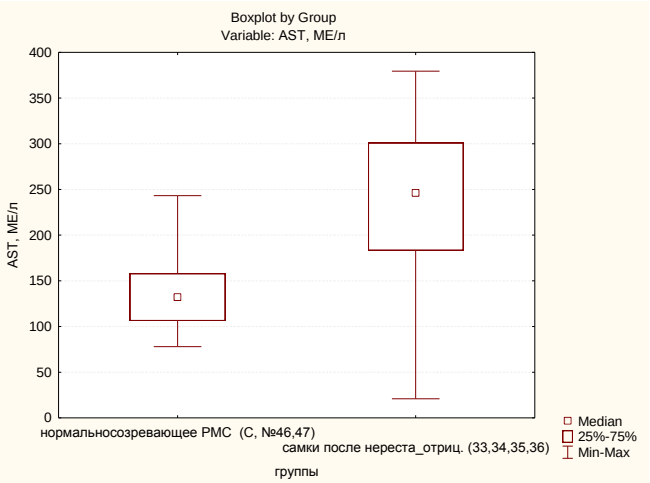


Рис. 5.8. Сравнение активности AST между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000184)

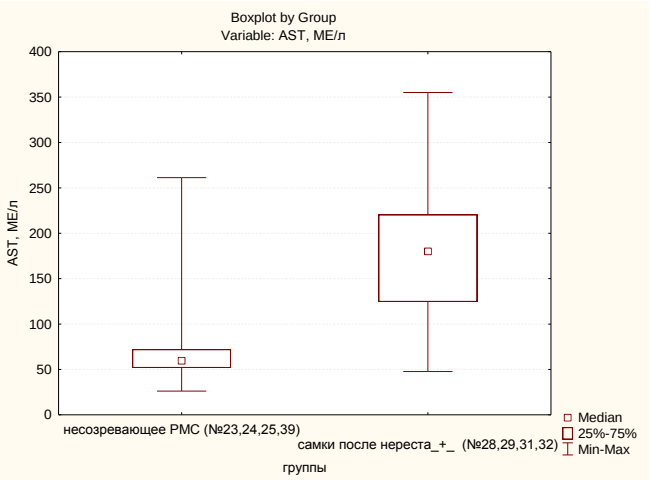


Рис. 5.9. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

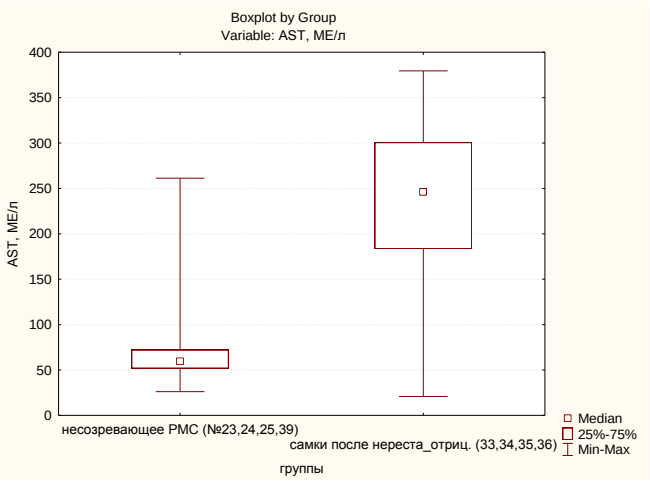


Рис. 5.10. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

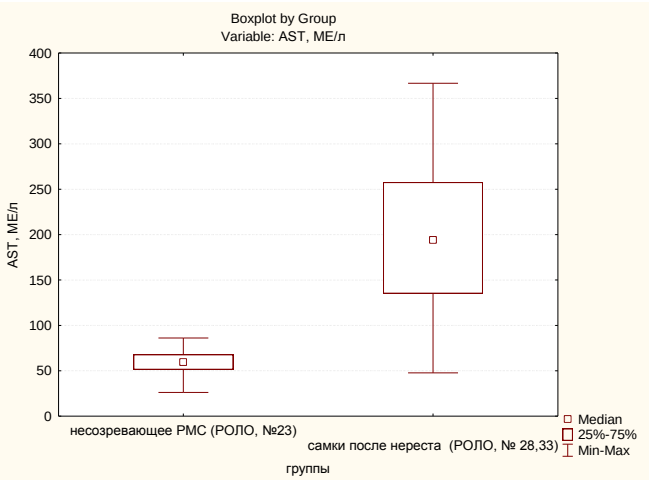


Рис. 5.11. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

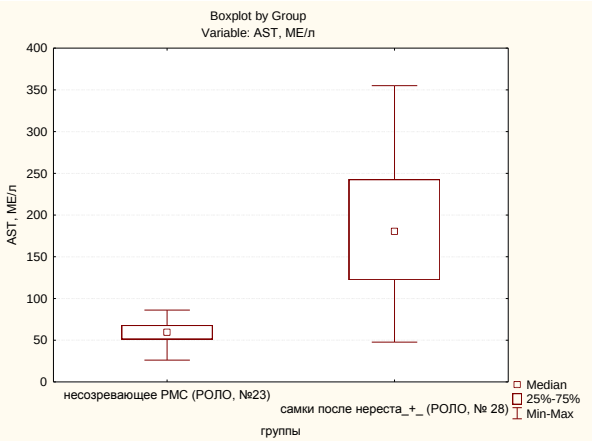


Рис. 5.12. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000005)

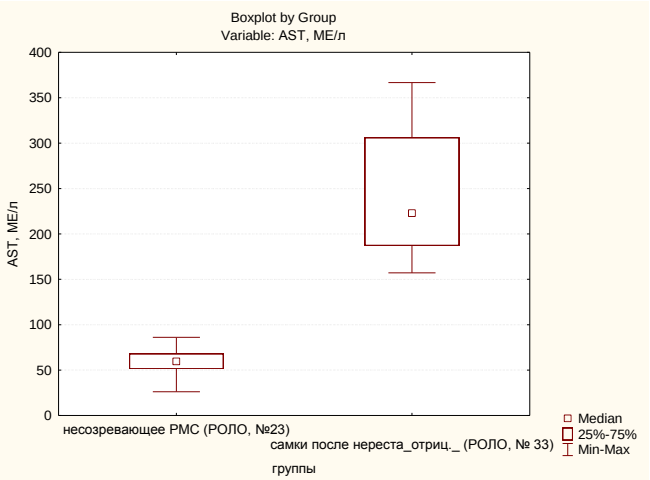


Рис. 5.13. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000020)

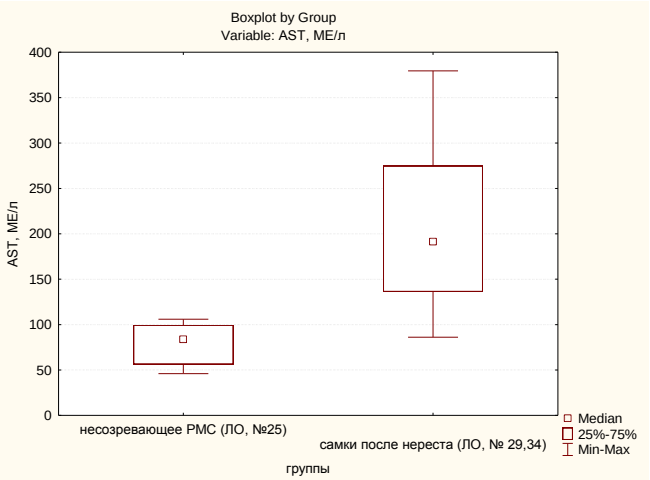


Рис. 5.14. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом ленского осетра и самками ленского осетра после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,002414)

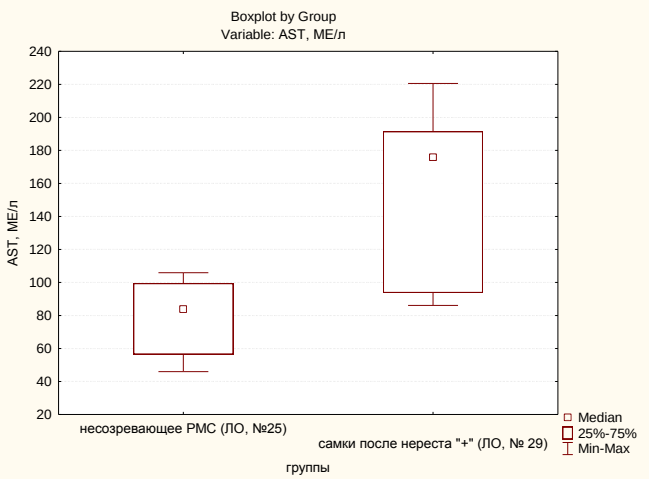


Рис. 5.15. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом ленского осетра и самками ленского осетра, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,012717)

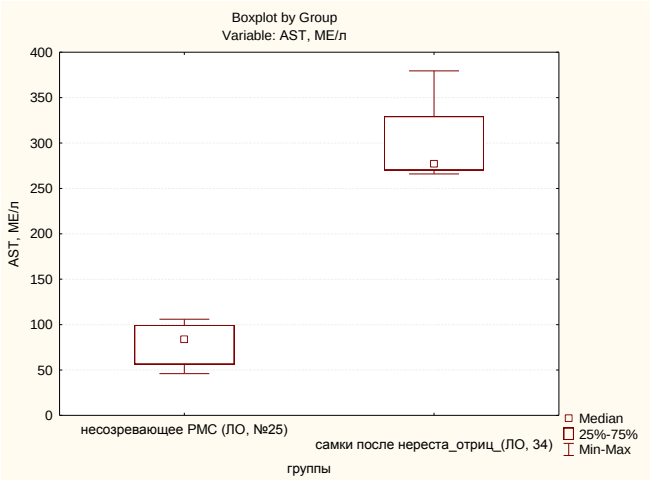


Рис. 5.16. Сравнение активности AST между несозревающим ремонтно-маточным стадом ленского осетра и самками ленского осетра, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,008151)

Исследование активности аланинаминотрансферазы (ALT) ремонтно-маточного стада осетровых рыб.

Установлено, что активность ALT в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых зависит от различного физиологического состояния рыб.

Активность ALT (рис. 5.17) у самок ленского осетра, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, была в среднем на 70,5 % выше активности ALT самок ленского осетра, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (P = 0,037636).

Нами установлены достоверные различия в активности ALT между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста. Так, активность ALT (рис. 5.18) у производителей осетровых рыб после нереста была выше в среднем на 120,2 %, чем у нормально созревающего РМС (P = 0,000724), и на 35,5 % (рис. 5.19) выше, чем у активности ненормально созревающего РМС (P = 0,0000001). Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию, а также имели видовые особенности (рис. 5.20–5.25).

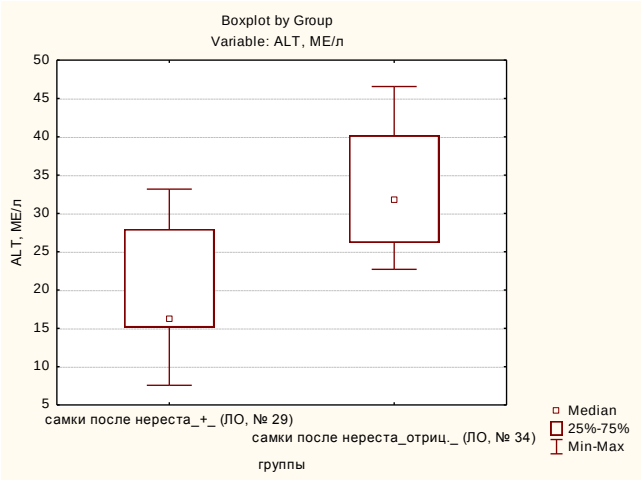


Рис. 5.17. Сравнение активности ALT между самками ленского осетра, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками ленского осетра, отрицательно ответившими на данную инъекцию (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,037636)

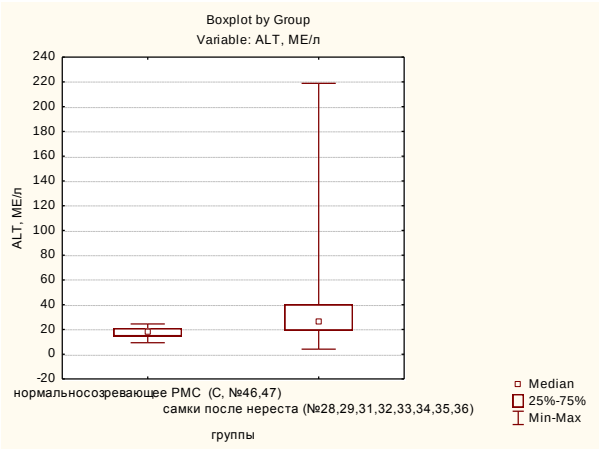


Рис. 5.18. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000724)

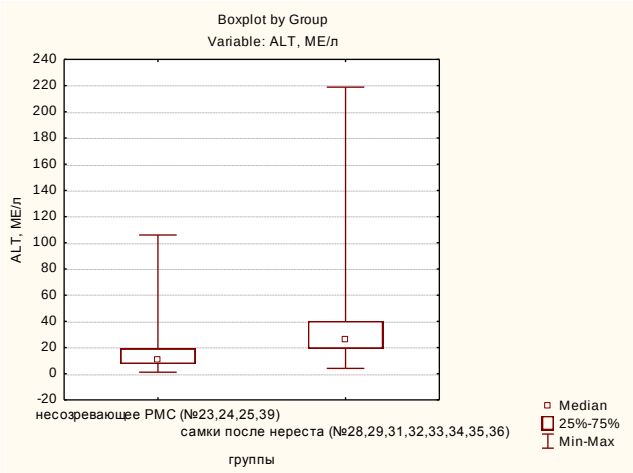


Рис. 5.19. Сравнение активности ALT между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

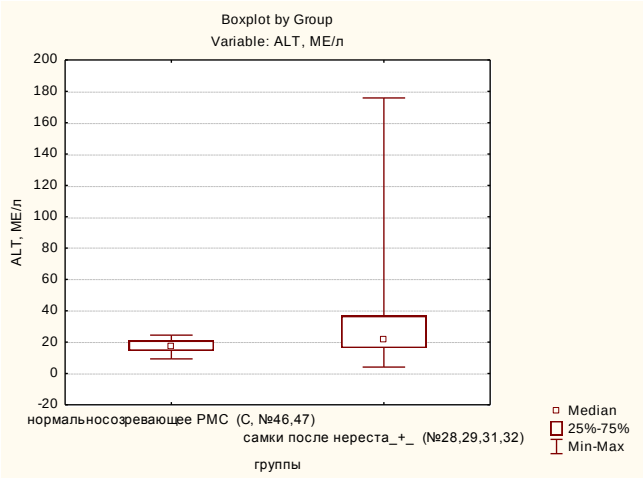


Рис. 5.20. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,024765)

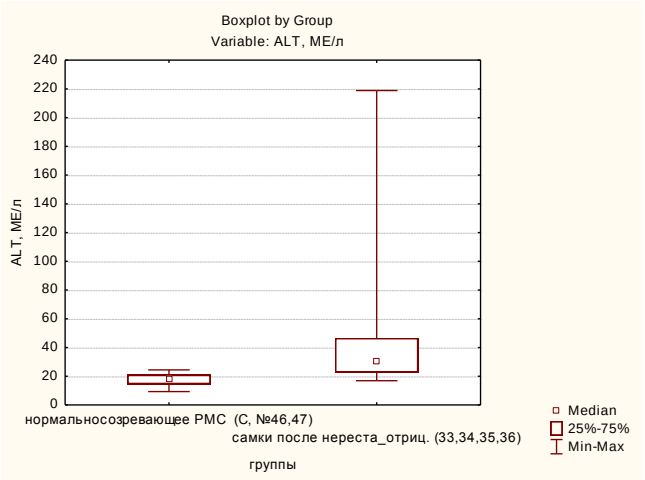


Рис. 5.21. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000070)

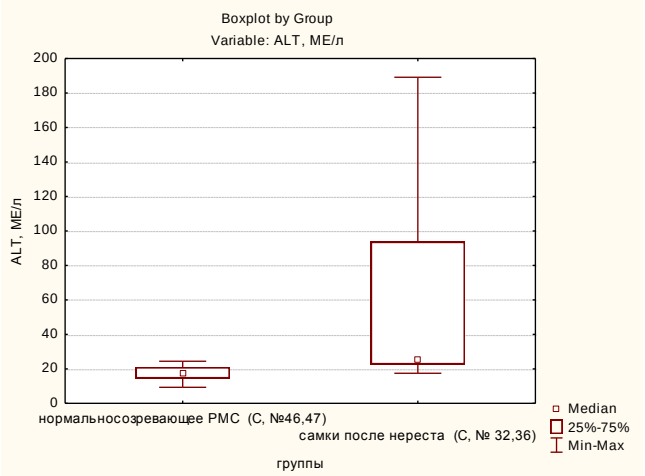


Рис. 5.22. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000818)

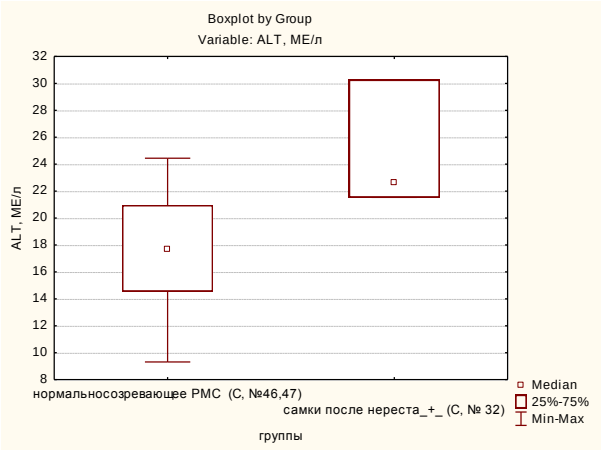


Рис. 5.23. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,038607)

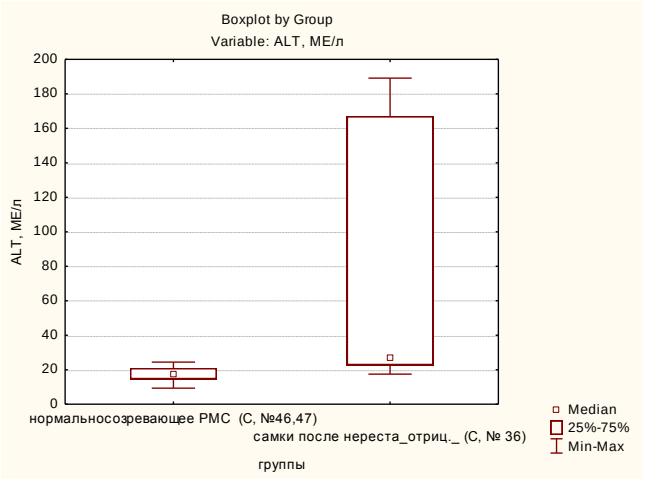


Рис. 5.24. Сравнение активности ALT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,002641)

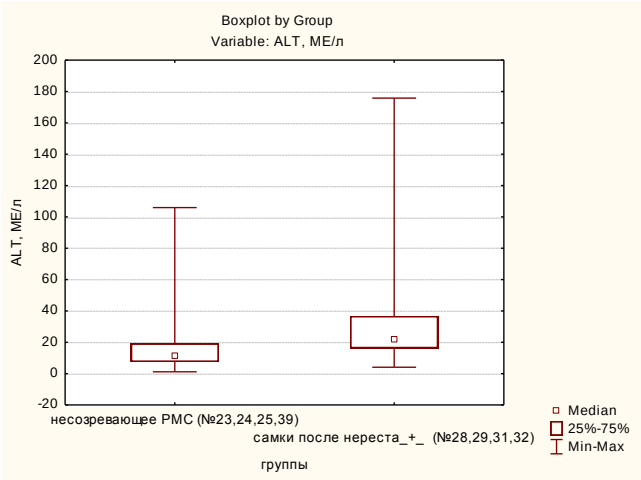


Рис. 5.25. Сравнение активности ALT между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000405)

Исследование активности щелочной фосфатазы (ALP) ремонтно-маточного стада осетровых рыб.

Установлено, что активность ALP в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых зависит от различного физиологического состояния рыб.

Так, активность ALP (рис. 5.26) у несозревающих (тугосозревающих) ремонтно-маточных стад осетровых на 134,8 % была выше, чем у нормально созревающих (P = 0,0000001).

Активность ALP (рис. 5.27) у самок осетровых рыб, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, была в среднем на 40,2 % выше активности ALP самок осетровых рыб, положительно ответившими на данную инъекцию (P = 0,002559).

Эти различия зависели от вида осетровых рыб: у рыб гибрида РОЛО (рис. 5.28), отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, активность ALP была на 88,1 % выше (P = 0,005137), чем у рыб, положительно ответившими на данную инъекцию.

Нами установлены достоверные различия в активности ALP между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста.

Так, активность ALP (рис. 5.29) у производителей осетровых рыб после нереста была выше в среднем на 89,1 %, чем у нормально созревающего РМС (P = 0,000110).

Активность ALP у ненормально созревающего РМС была на 24,1 % выше активности ALP производителей осетровых рыб после нереста (P = 0,002443).

Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию, а также имели видовые особенности (рис. 5.30–5.41).

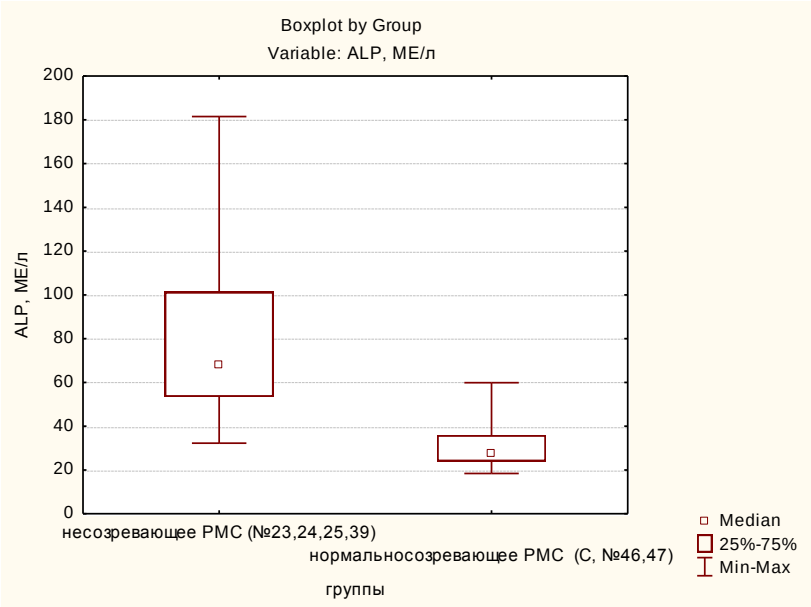


Рис. 5.26. Сравнение активности ALP между несозревающим и нормально созревающим ремонтно-маточными стадами осетровых рыб (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

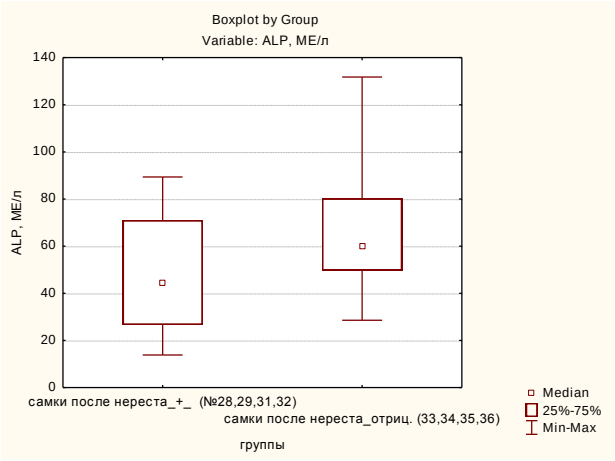


Рис. 5.27. Сравнение активности ALP между самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста и самками осетровых, отрицательно ответившими на данную инъекцию
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,002559)

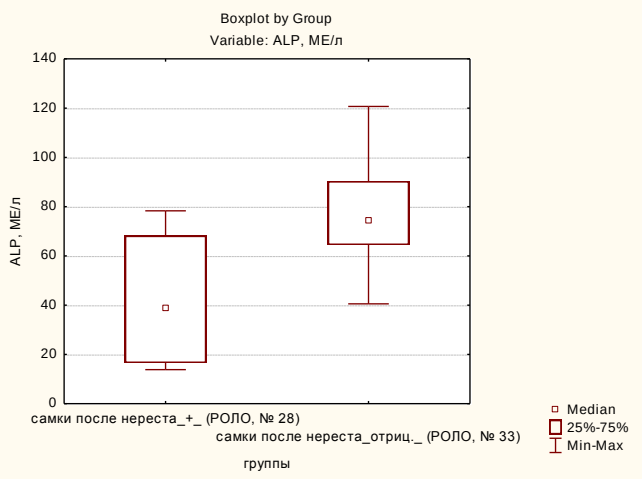


Рис. 5.28. Сравнение активности ALP между самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками гибрида РОЛО, отрицательно ответившими на данную инъекцию во время нереста
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,005137)

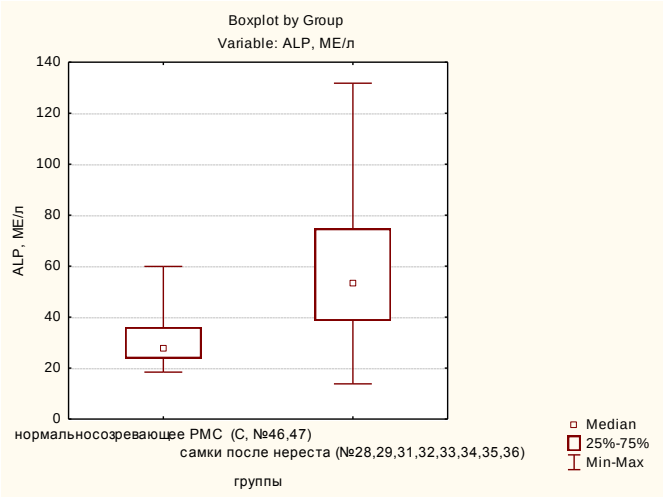


Рис. 5.29. Сравнение активности ALP между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000110)

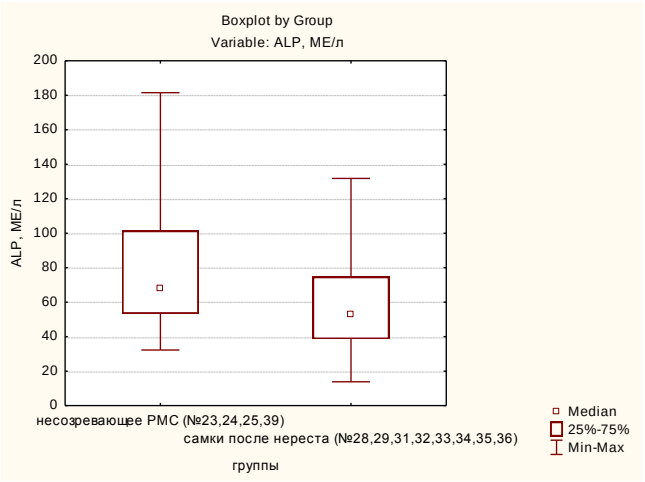


Рис. 5.30. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,002443)

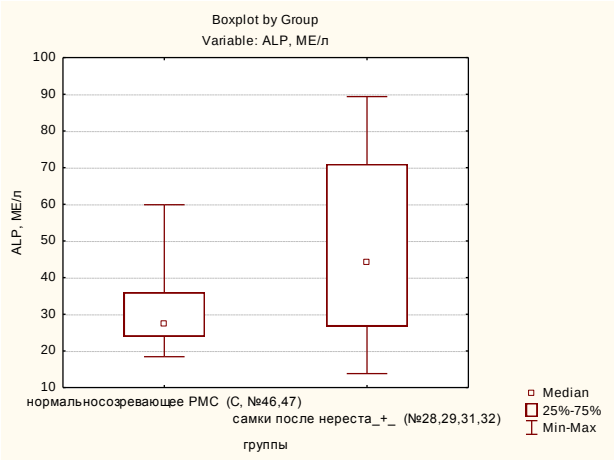


Рис. 5.31. Сравнение активности ALP между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,024765)

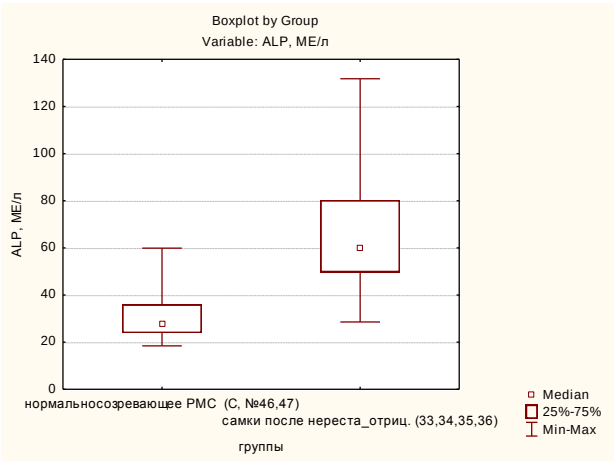


Рис. 5.32. Сравнение активности ALP между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000001)

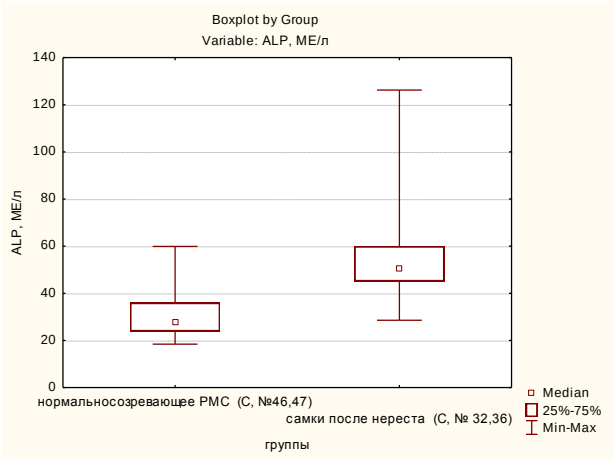


Рис. 5.33. Сравнение активности ALP между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001430)

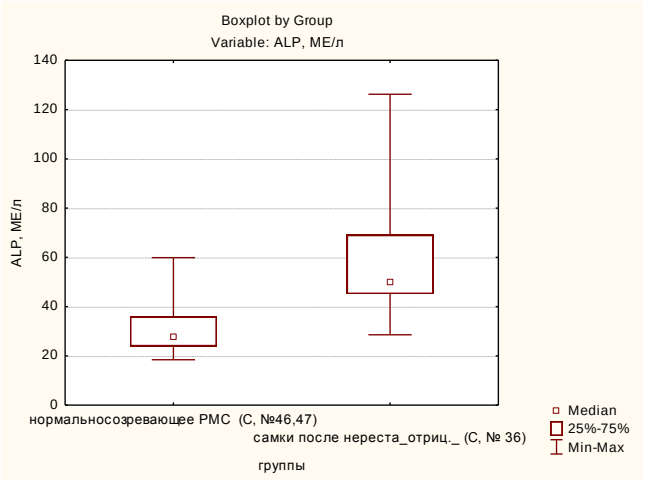


Рис. 5.34. Сравнение активности ALP между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,002641)

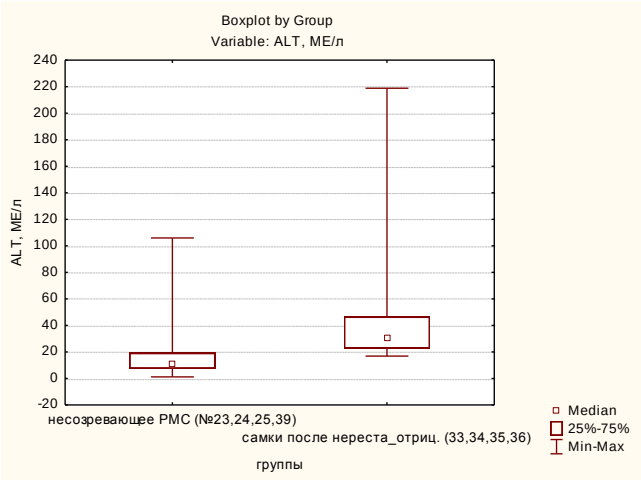


Рис. 5.35. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

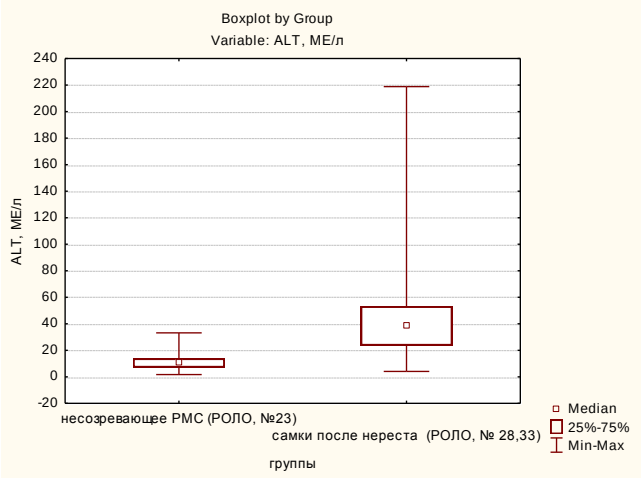


Рис. 5.36. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000003)

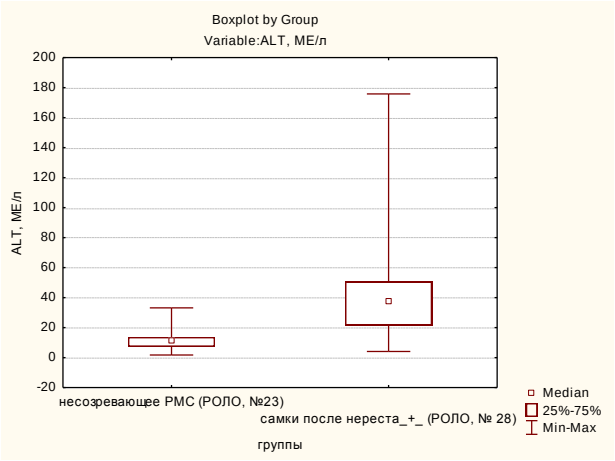


Рис. 5.37. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000257)

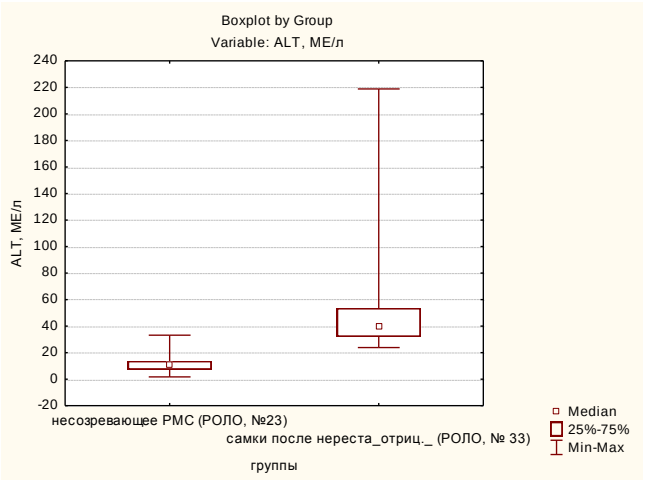


Рис. 5.38. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000089)

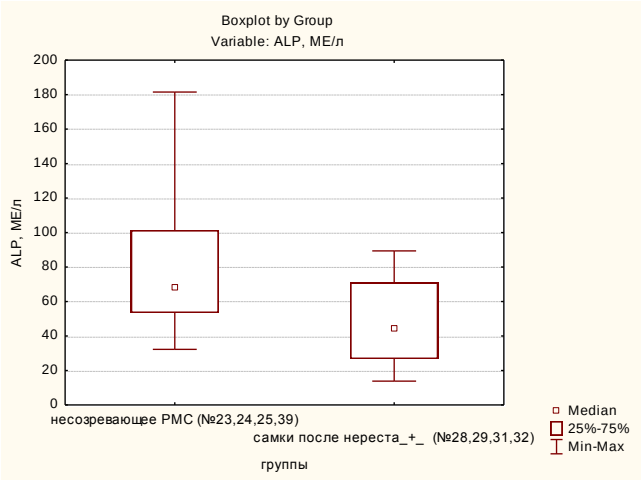


Рис. 5.39. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000061)

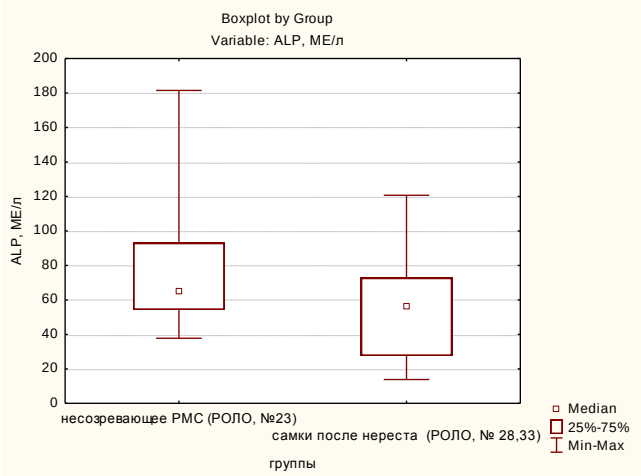


Рис. 5.40. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,027734)

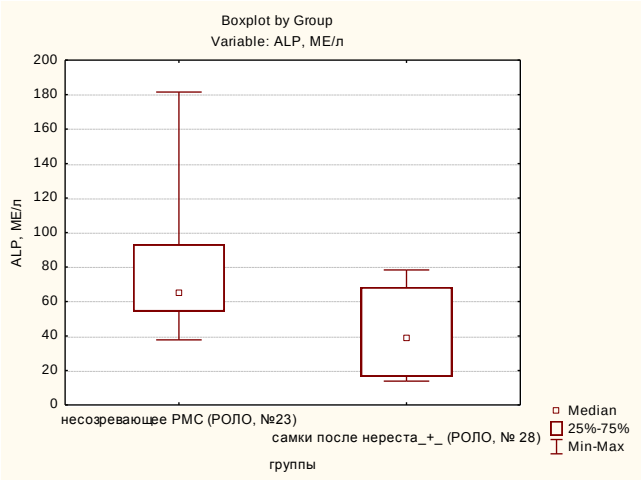


Рис. 5.41. Сравнение активности ALP между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000970)

Исследования активности γ-глютамилтрансферазы (GGT) ремонтно-маточного стада осетровых рыб.

Установлено, что активность GGT в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых зависит от различного физиологического состояния рыб.

Так, активность GGT (рис. 5.42) у несозревающих ремонтно-маточных стад осетровых была на 254,6 % выше, чем у нормально созревающих (P = 0,000013).

Нами установлены достоверные различия в активности GGT между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста. Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию, а также имели видовые особенности (рис. 5.43–5.49).

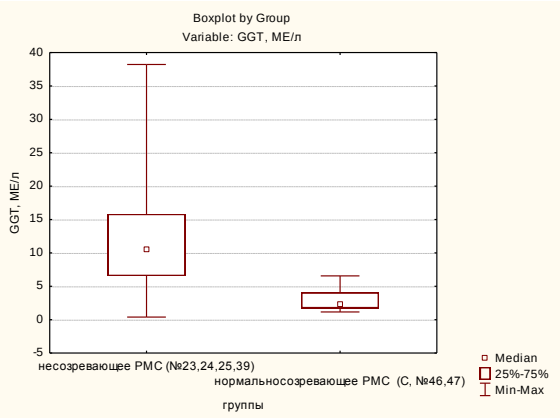


Рис. 5.42. Сравнение активности GGT между несозревающим и нормально созревающим ремонтно-маточными стадами осетровых (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000013)

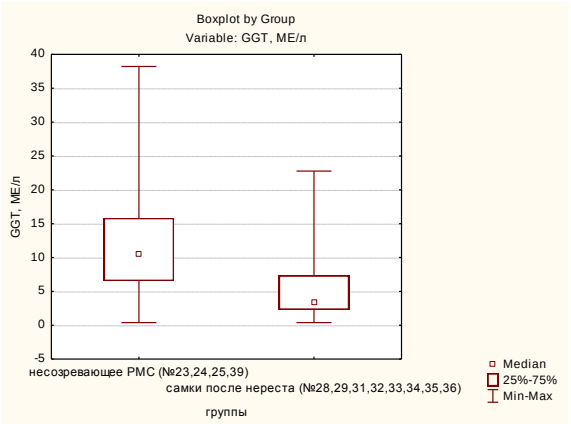


Рис. 5.43. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000006)

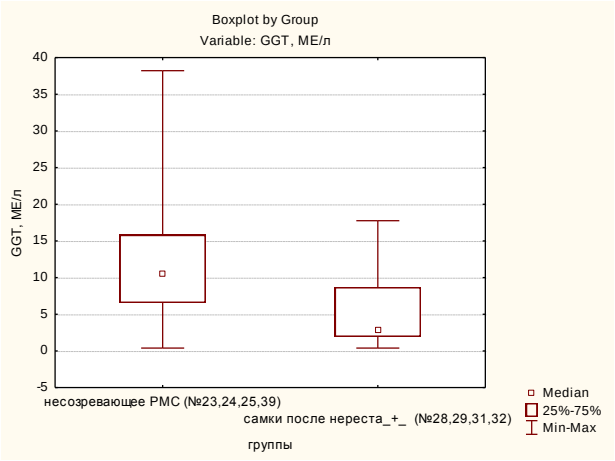


Рис. 5.44. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000742)

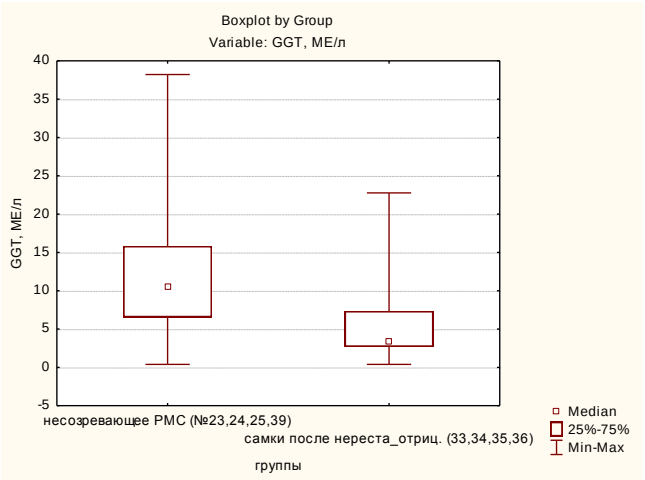


Рис. 5.45. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000101)

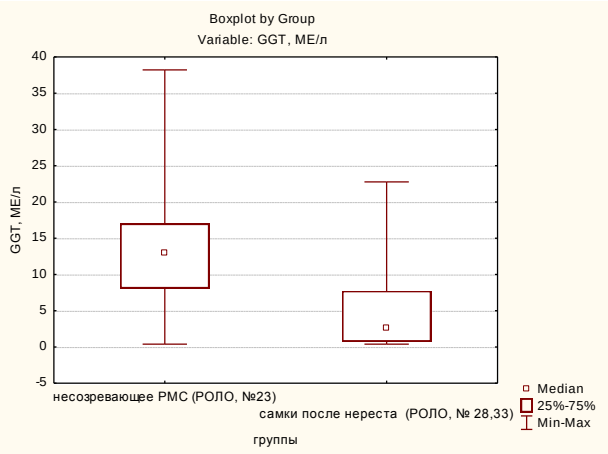


Рис. 5.46. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,003430)

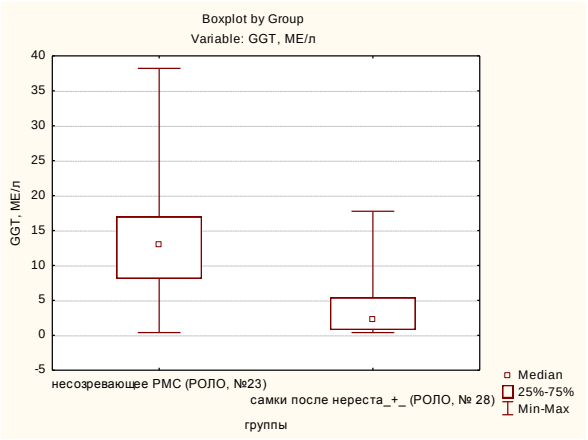


Рис. 5.47. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,007932)

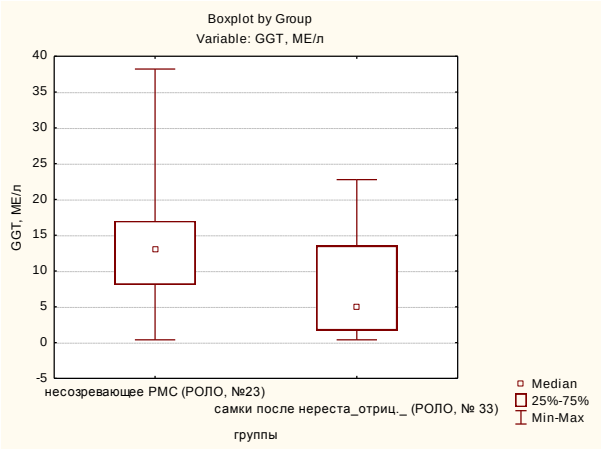


Рис. 5.48. Сравнение активности GGT между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,057100)

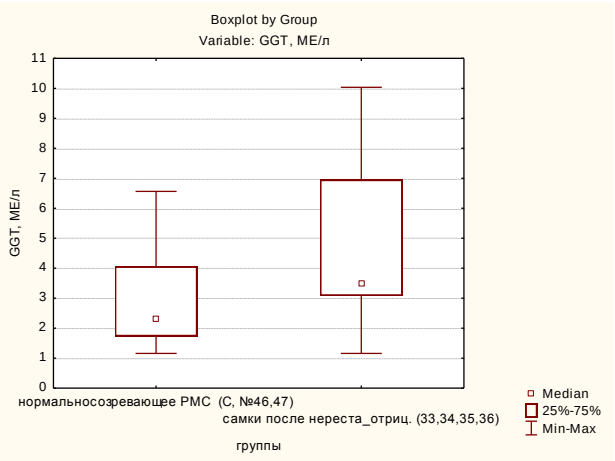


Рис. 5.49. Сравнение активности GGT между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,074911)

Исследование активности лактатдегидрогеназы (LD) и α-гидроксибутиратдегирогеназы (LDH-1).

Установлено, что активность LD и LDH-1 в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых рыб зависит от различного физиологического состояния. Ниже приводятся данные (рис. 5.50–5.52) по которым достоверно установлены различия.

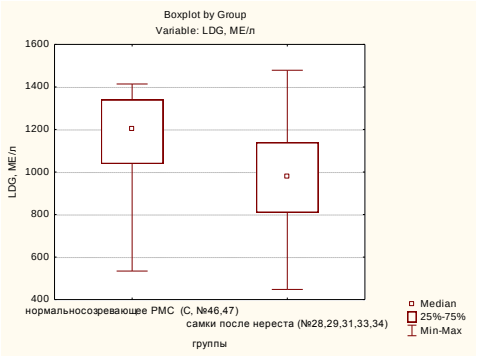


Рис. 5.50. Сравнение активности LD между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб и самками осетровых рыб после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,087952)

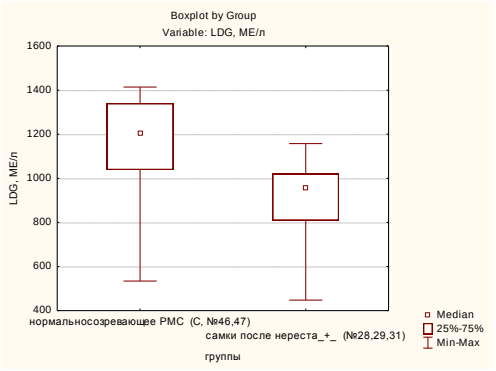


Рис. 5.51. Сравнение активности LD между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб и самками осетровых рыб, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни,уровень значимости P = 0,020880)

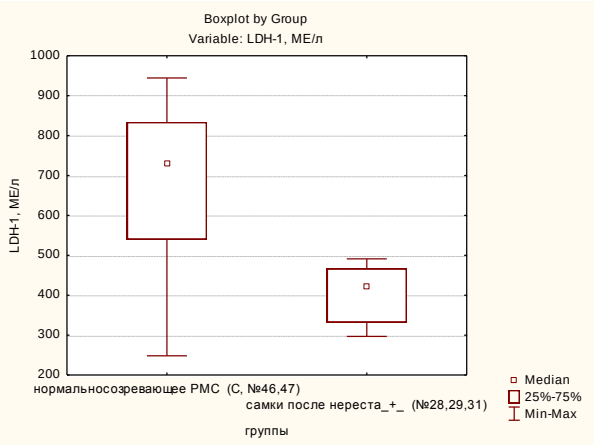


Рис. 5.52. Сравнение активности LDH-1 между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб и самками осетровых рыб, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,011370)

Исследование концентрации неорганического фосфора (Phosphorus).

Установлено, что концентрация Phosphorus в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых рыб зависит от различного физиологического состояния.

Так, концентрация Phosphorus (рис. 5.53) у самок стерляди, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, была в среднем на 25,5 % выше концентрации Phosphorus самок стерляди, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (P = 0,016704).

Нами установлены достоверные различия концентрации Phosphorus между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста. Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию, а также имели видовые особенности (рис. 5.54–5.59).

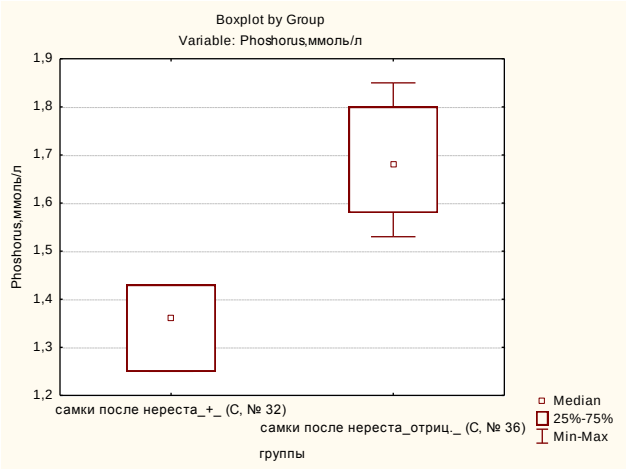


Рис. 5.53. Сравнение концентрации Phosphorus между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,016704)

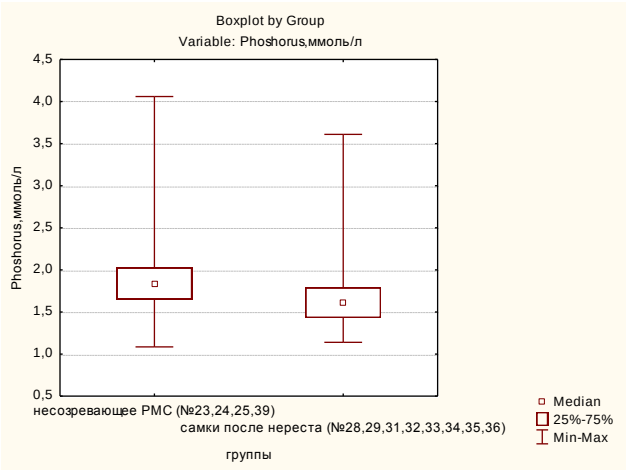


Рис. 5.54. Сравнение концентрации Phosphorus между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000040)

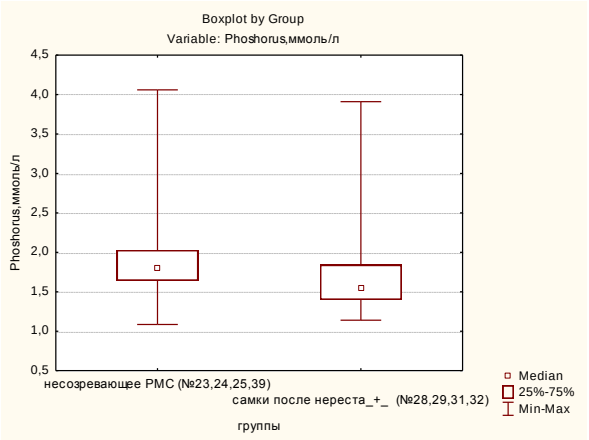


Рис. 5.55. Сравнение концентрации Phosphorus между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,006415)

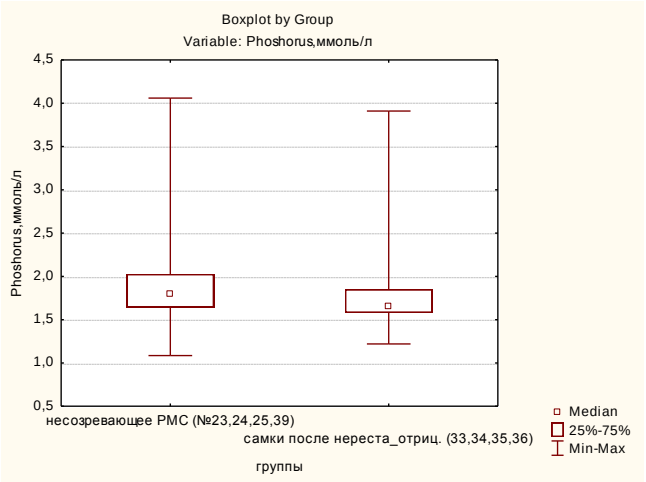


Рис. 5.56. Сравнение концентрации Phosphorus между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,029500)

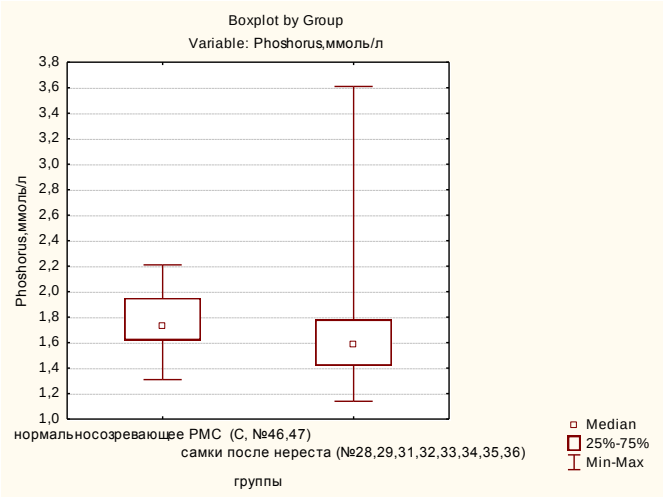


Рис. 5.57. Сравнение концентрации Phosphorus между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб и самками осетровых рыб после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,026406)

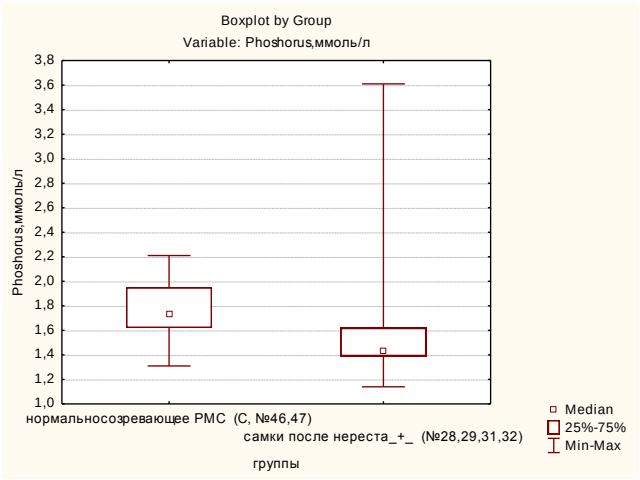


Рис. 5.58. Сравнение концентрации Phosphorus между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб и самками осетровых рыб, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,005648)

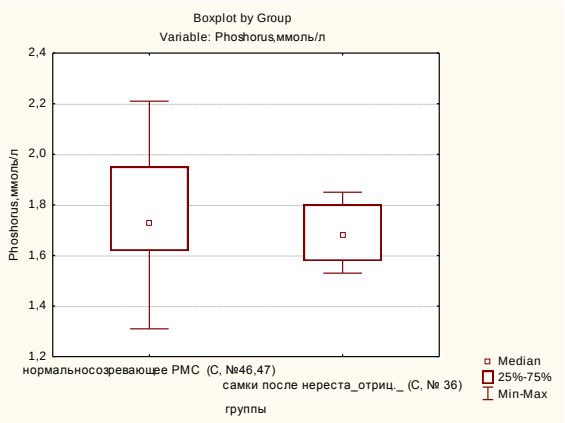


Рис. 5.59. Сравнение концентрации Phosphorus между нормально созревающим ремонтно-маточным стадом стерляди и самками стерляди, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,018882)

Концентрация полного белка (TP).

Установлено, что концентрация полного белка (TP) в сыворотке крови ремонтно-маточных стад и производителей осетровых рыб зависит от различного физиологического состояния.

Так, концентрация TP (рис. 5.60) у несозревающих (туго созревающих) ремонтно-маточных стад осетровых была выше концентрации TP нормально созревающих ремонтно-маточных стад осетровых на 18,4 % (P = 0,0029).

Концентрация TP (рис. 5.61) у самок осетровых рыб, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, была в среднем на 18,0 % выше концентрации TP самок осетровых рыб, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (P = 0,000403), эти различия зависели от вида осетровых рыб: у гибрида РОЛО (рис. 5.62) концентрация TP у самок, отрицательно ответивших на стимулирующую инъекцию во время нереста, была выше на 48,1 % (P = 0,001836).

Нами установлены достоверные различия концентрации TP между ремонтно-маточными стадами во время осенней бонитировки и производителями после нереста. Эти различия зависели от реакции ответа на стимулирующую инъекцию, а также имели видовые особенности (рис. 5.63–5.69).

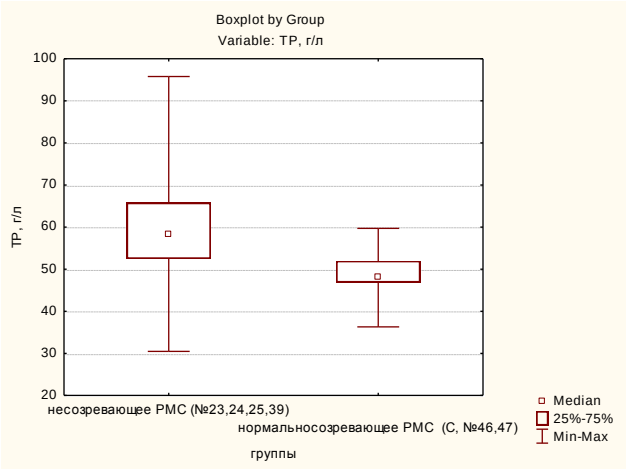


Рис. 5.60. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и нормально созревающим ремонтно-маточным стадом осетровых рыб (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0029)

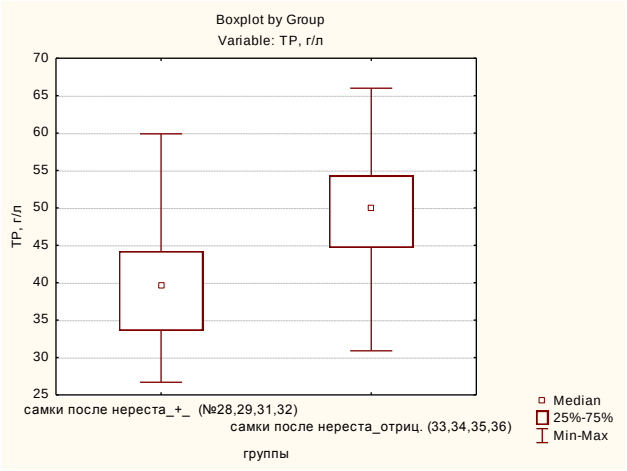


Рис. 5.61. Сравнение концентрации ТР между самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000403)

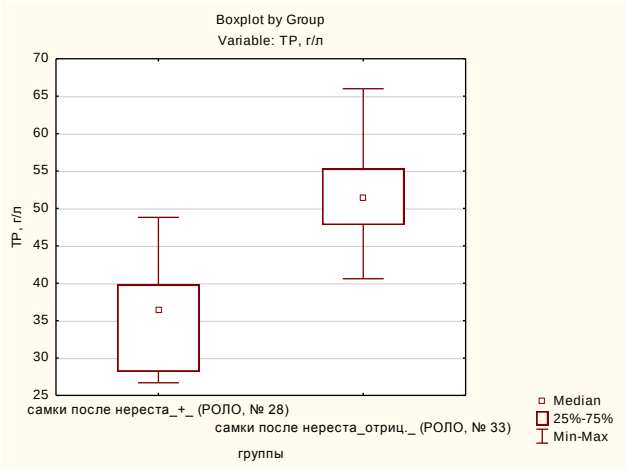


Рис. 5.62. Сравнение концентрации ТР между самками гибрида РОЛО, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста, и самками гибрида РОЛО, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001836)

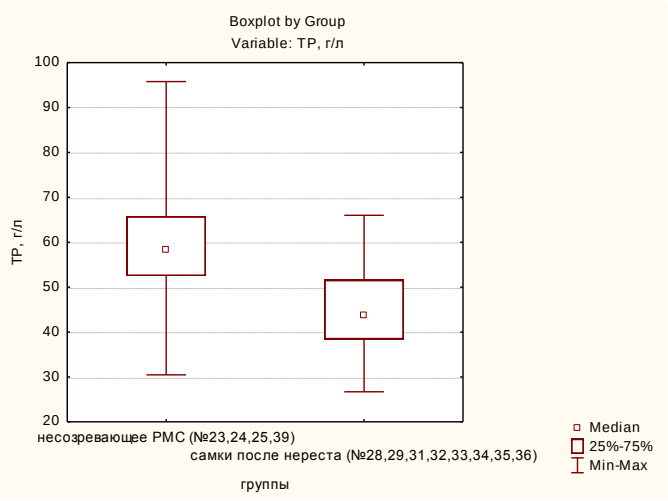


Рис. 5.63. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

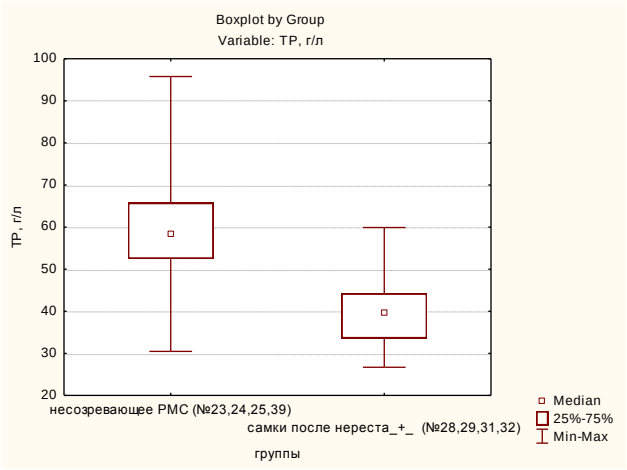


Рис. 5.64. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000001)

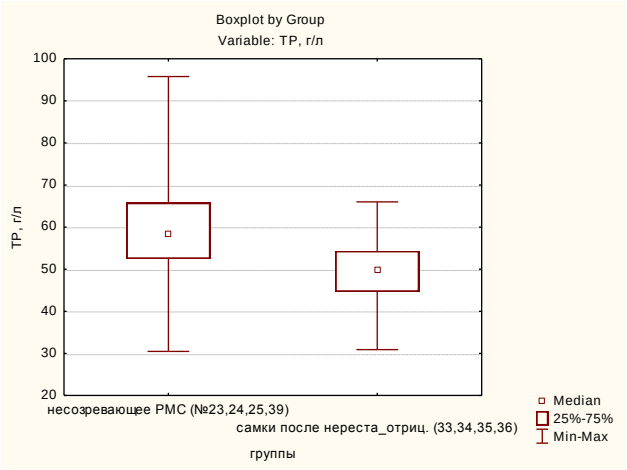


Рис. 5.65. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, отрицательно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000239).

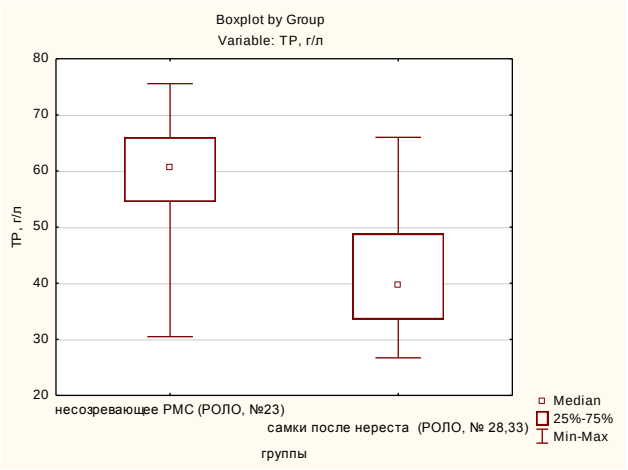


Рис. 5.66. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом гибрида РОЛО и самками гибрида РОЛО после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000014)

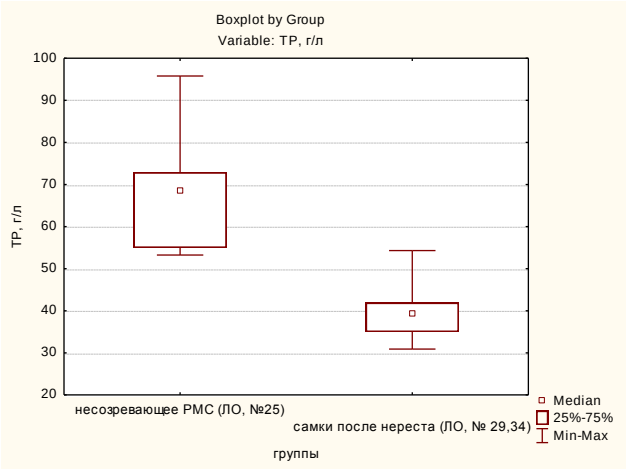


Рис. 5.67. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом ленского осетра и самками ленского осетра после нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001780)

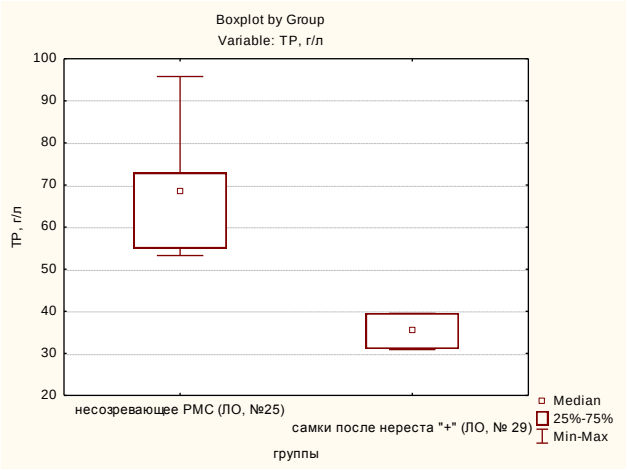


Рис. 5.68. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом ленского осетра и самками ленского осетра, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,00815)

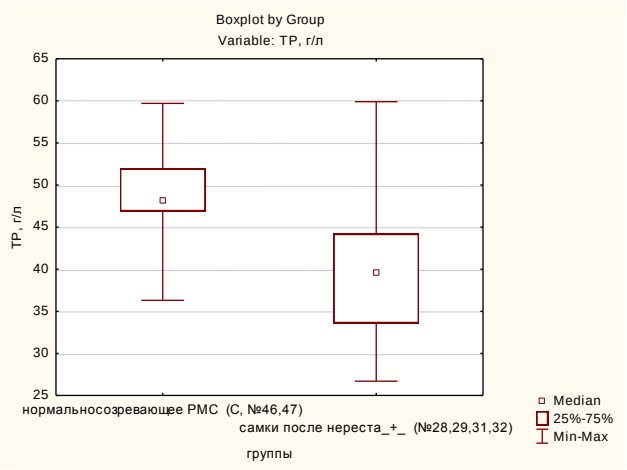


Рис. 5.69. Сравнение концентрации ТР между несозревающим ремонтно-маточным стадом осетровых и самками осетровых, положительно ответившими на стимулирующую инъекцию во время нереста (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001320)

Ультразвуковое исследование печени. УЗИ-исследованию подвергали товарную рыбу, ремотно-маточные и маточные стада осетровых рыб в периоды активного нагула, осенней бонитировки и нереста.

У нормально развивающихся рыб эхографическая структура паренхимы печени имела вид однородной, мелкозернистой структуры с хорошим проникновением эхосигнала (от нормальной до немного повышенной эхогенности), а также очагами повышенной эхогенности (фиброзная ткань), отличающимися от остальной паренхимы. Края у печени здоровой рыбы гладкие и острые (рис. 5.70). Такая картина была характерна для нормально развивающегося ремонтно-маточного стада, а также для рыб, положительно ответивших на стимулирующую инъекцию во время нереста.

Рис. 5.70. Эхограмма поперечного сканирования здоровой печени
у нормально развивающихся рыб из ремонтной группы ленского осетра

Желчный пузырь (рис. 5.71) у здоровой рыбы ясно очерчен, с гладкой поверхностью, имел круглую или овальную структура с тонкими стенками и анэхогенным содержимым. Под желчным пузырем мы часто наблюдали эффект акустического усиления. Размеры желчного пузыря очень разнились – в зависимости от того, как давно в последний раз рыба принимала пищу.

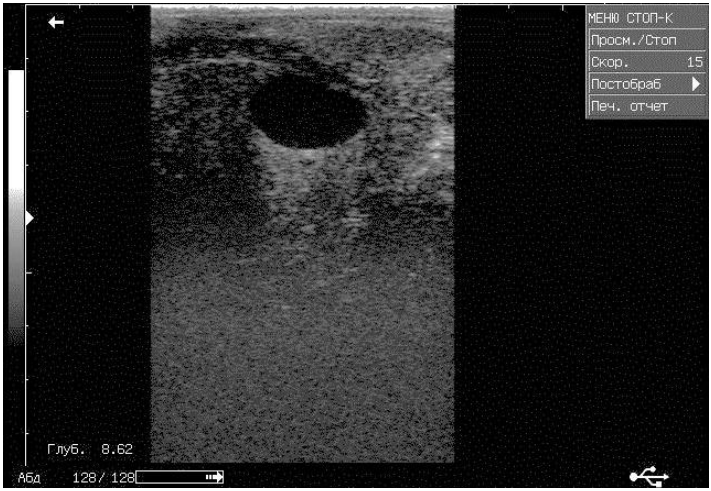


Рис. 5.71. Эхограмма поперечного сканирования правой доли печени с желчным пузырем у самки гибрида бестера из маточной группы

Внутрипеченочные кровеносные сосуды идентифицировались в виде анэхогенных каналов как в продольном, так и поперечном сечении. Воротные вены имели ярко-эхогенные стенки из-за фиброзной природы воротных трактов, в то время как печеночные вены не отличались эхогенными стенками.

У туго созревающих (ненормально созревающих) осетровых рыб из числа ремонотно-маточного стада, главным образом, из числа половозрелых самок, отрицательно ответивших на инъецирование стимулирующими препаратами в период нереста, при УЗИ-исследовании мы наблюдали следующие изменения в эхографической структуре паренхимы печени: некроз печени, который характеризовался наличием областей с пониженной эхогенностью; печеночные кисты, которые имели вид резко очерченных, округлых, анэхогенных образований с акустическим усилением; неровные края печени, бугристость, обеднение сосудистого рисунка; значительное повышение эхогенности печени (рис. 5.72) и самих размеров печени, которое, вероятно, свидетельствовало о протекании процессов цирроза; «сетчатость» эхоструктурной паренхимы; неоднородность эхоструктуры за счет гиперэхогенных эхосигналов, повышенное звукопоглощение.

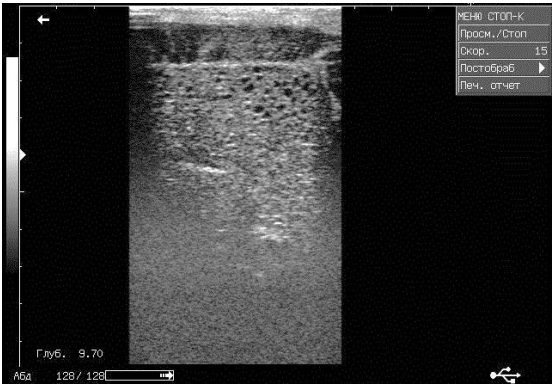


Рис. 5.72. Эхограмма поперечного сканирования печени у самки гибрида РОЛО с повышенной эхогенностью, с отрицательным результатом нерестового стимулирования

Таким образом, комплекс проведенных исследований и анализ данных показывают, что печень оказывает существенное влияние на эффективность искусственного воспроизводства осетровых рыб в условиях икорно-товарной аквакультуры, об этом свидетельствует динамика активности и концентрации гепатоспецифических маркеров:

- активность аспартатаминотрансферазы у туго созревающих (несозревающих) рыб из ремонтно-маточного стада была достоверно ниже, чем у нормально созревающего ремонтно-маточного стада. Активность аспартатаминотрансферазы существенно повышается в нерестовый период. При этом у рыб, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании, активность аспартатаминотрансферазы существенно выше, чем у нормально созревших производителей, что свидетельствовало о некротическом поражении гепатоцитов и подтверждалось ультразвуковыми исследованиями;
- активность аланинаминотрансферазы существенно повышается в нерестовый период, однако у рыб, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании, активность аланинаминотрансферазы существенно выше, чем у нормально созревших производителей, что свидетельствовало о некротическом поражении гепатоцитов, жировой дистрофии и подтверждалось ультразвуковыми исследованиями;
- активность щелочной фосфотазы была выше как у туго созревающего ремонтно-маточного стада по сравнению с нормально созрева-

ющим РСМ в период бонитировки, так и у производителей, показавших отрицательный результат в период нерестовой компании, что свидетельствовало о патологических процессах, происходящих в печени, и подтверждалось ультразвуковыми исследованиями;

• нами также были обнаружены характерные для патологических процессов в печени изменения в активности и концентрации γ-глютамилтрансферазы, лактатдегидрогеназы, α-гидрокси-бутиратдегирогеназы, неорганического фосфора, полного белка у рыб, имеющих нарушения в воспроизводительной функции, что подтверждалось ультразвуковыми исследованиями.

Таким образом, в результате проведенных исследований была определена активность гепатоспецифических ферментов, концентрация метаболитов белкового и минерального обменов в зависимости от физиологического состояния, морфологического и патологического состояния печени и гонад. Установлена зависимость репродуктивных характеристик от активности гепатоспецифических ферментов.

В результате проведенных исследований получена концепция гепатоспецифического механизма регулирования воспроизводительной функции осетровых рыб в условиях икорно-товарной аквакультуры Беларуси, а также новые данные для составления гепатоспецифического метаболического профиля осетровых рыб, который будет использоваться для комплексной оценки функционального состояния печени в зависимости от вида, возраста, пола, технологии выращивания.

5.2. Концентрация андрогенов в сыворотке крови самок ремонтно-маточного стада осетровых рыб

Синтез андрогенов у самок осуществляется в надпочечниках, яичниках и периферических тканях (печень, кожа, жировая, мышечная ткани, урогенитальный тракт), при этом все пять андрогенов: дегидроэпиандростерон (ДЭА), дегидроэпиандростерона сульфат (ДЭАС), андростендион, тестостерон и андростендиол (имеет андрогенную и эстрогенную активность) – образуются одинаковым путем [119].

Цель исследований – изучение концентрации андрогенов в сыворотке крови икорно-маточных стад осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения.

Исследование изменения концентрации тестостерона. Установлено, что концентрация тестостерона в сыворотке крови осетровых рыб из ремонтно-маточных стад и производителей зависит от пола и ста-

дий зрелости гонад. Так, концентрация тестостерона у самцов, имеющих семенники 2-й и 3-й стадий зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 2-й стадии зрелости (рис. 5.73). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,017281.

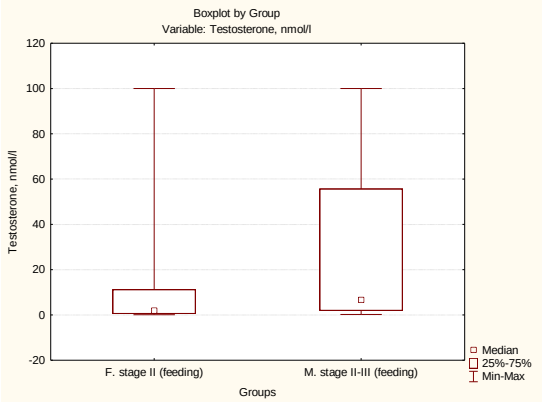


Рис. 5.73. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками и самцами ремонтно-маточного стада стерляди (возраст 1 год 8 мес) на стадии активного нагула в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,017281)

Динамика изменения концентрации тестостерона у самок осетровых в зависимости от стадии зрелости представлена на рис. 5.74. Как видно из рисунка, концентрация тестостерона подвержена колебаниям и изменяется в зависимости от стадии развития гонад и времени года. Наиболее высокий уровень тестостерона наблюдался у самок, имеющих яичники 1-й стадии зрелости, у туго созревающих самок с яичниками 2-й стадии зрелости и у самок перед зимовкой.

Концентрация тестостерона у самок, имеющих яичники 1-й стадии зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 2-й стадии зрелости (рис. 5.75). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,0003. Величина различий зависела от вида. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови стерляди с яичниками 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения представлено на рис. 5.76, а в сыворотке крови между самками гибрида РОЛО – на рис. 5.77.

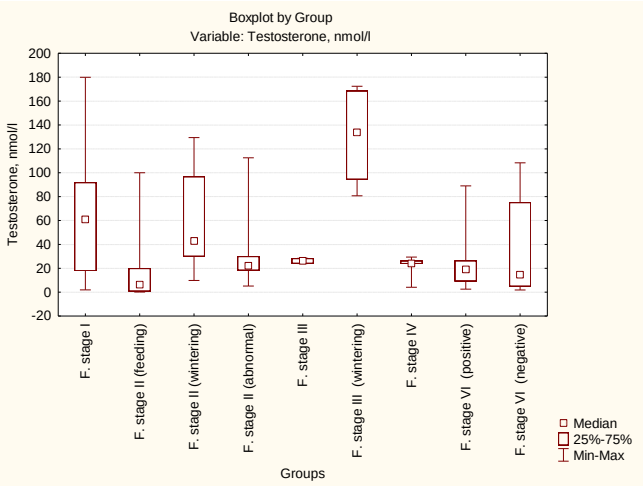


Рис. 5.74. Изменение концентрации тестостерона в сыворотке крови самок осетровых в зависимости от стадии зрелости яичников в условиях установки замкнутого водоснабжения (Н-тест Крускала-Уоллиса)

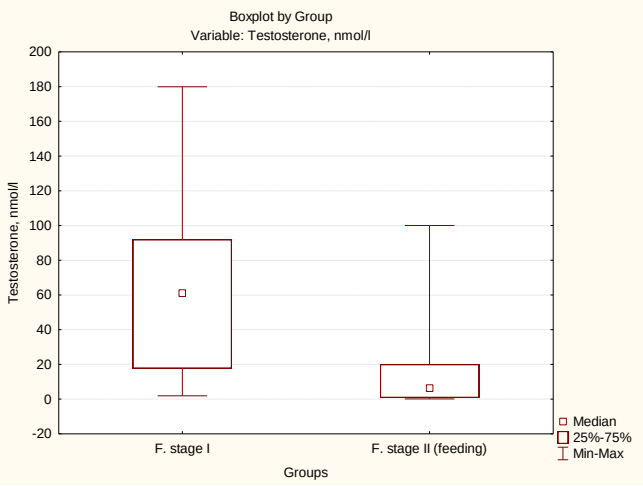


Рис. 5.75. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками с яичниками 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0003)

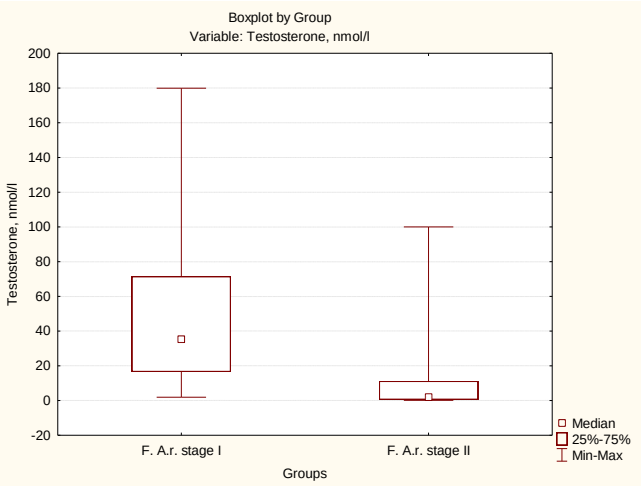


Рис. 5.76. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками стерляди с яичниками 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,001)

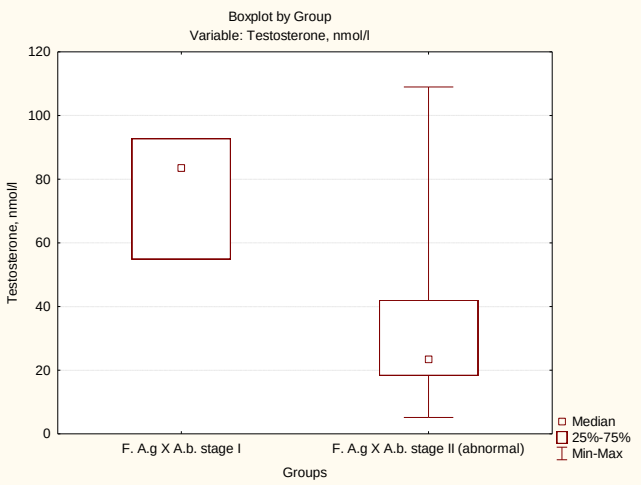


Рис. 5.77. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками гибрида РОЛО 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,06)

Различия в изменении концентрации тестостерона в сыворотке крови зависели также от физиологического состояния самок. Так, у самок, у которых наблюдалось нарушение в развитии гонад, т. е. наблюдалась так называемая тугозрелость, нами было установлено превышение концентрации тестостерона по сравнению с нормально развивающимися и созревающими самками (рис. 5.78).

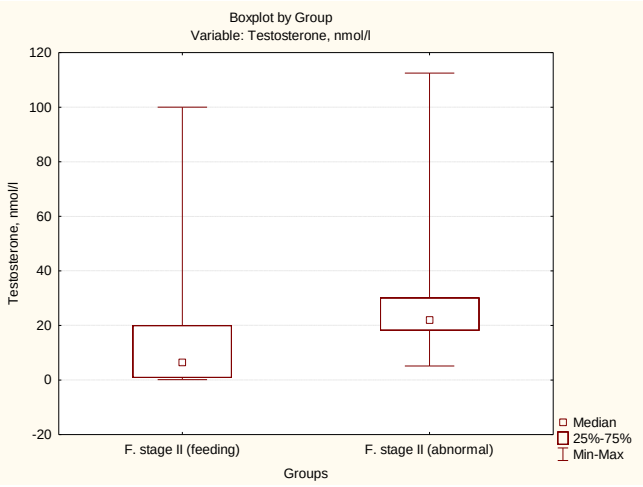


Рис. 5.78. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками с яичниками 2-й нормально развивающейся стадии и 2-й туго развивающейся стадии в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000019)

Нами было обнаружено, что у самок, которые не имели положительной реакции на инъецирование препаратами, стимулирующими нерест, происходило увеличение концентрации тестостерона (рис. 5.79). Однако данные различия были недостоверными. Тем не менее подробное изучение результатов исследований позволило установить достоверные различия в концентрации тестостерона между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста у гибрида РОЛО (рис. 5.80) и ленского осетра (рис. 5.81).

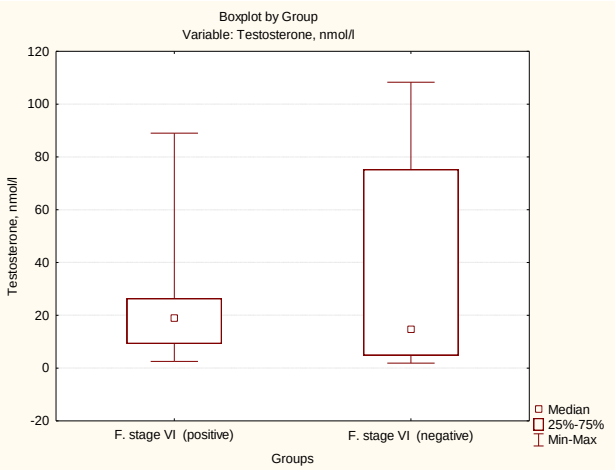


Рис. 5.79. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,97)

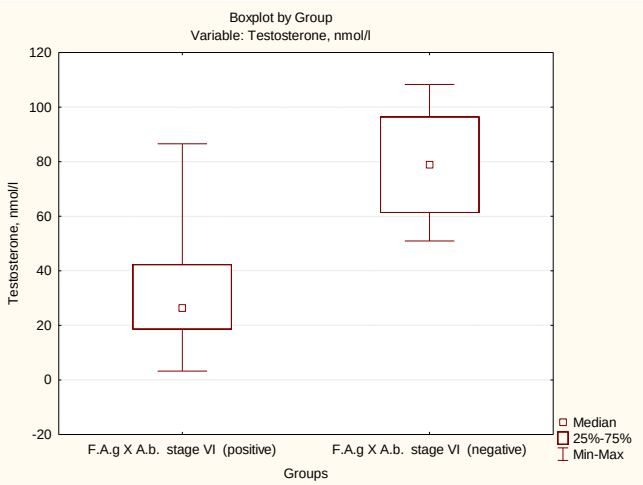


Рис. 5.80. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками гибрида РОЛО с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,01)

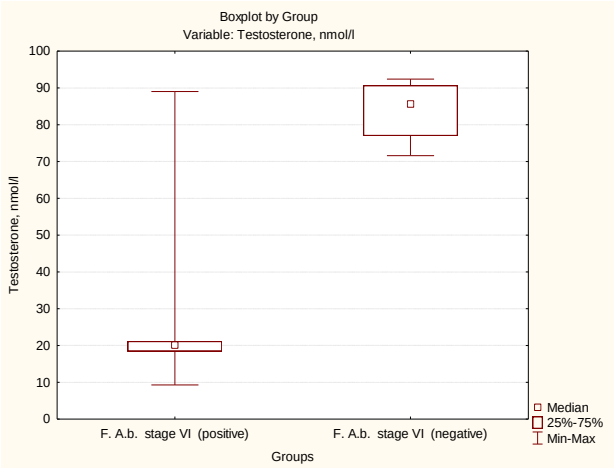


Рис. 5.81. Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови между самками ленского осетра с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,01)

Исследование изменения концентрации прогестерона. Установлено, что концентрация прогестерона в сыворотке крови осетровых рыб из ремонтно-маточных стад и производителей зависит от пола и стадий зрелости гонад. Динамика изменения концентрации прогестерона у самок осетровых рыб в зависимости от стадии зрелости представлена на рис. 5.82. Как видно из рисунка, концентрация прогестерона подвержена колебаниям и изменяется в зависимости от стадии развития гонад и времени года. Наиболее высокий уровень прогестерона наблюдался у самок, имеющих яичники 2, 3, 4-й стадий зрелости. Концентрация прогестерона у самок, имеющих яичники на 2-й стадии зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 1-й стадии зрелости (рис. 5.83). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,000458. Различия в изменении концентрации прогестерона в сыворотке крови зависели также от физиологического состояния самок. Так, у самок, у которых наблюдалось нарушение в развитии гонад, т. е. наблюдалась так называемая тугозрелость, нами было установлено превышение концентрации прогестерона по сравнению с нормально развивающимися и созревающими самками (рис. 5.84). Однако наблюдаемые различия были недостоверными.

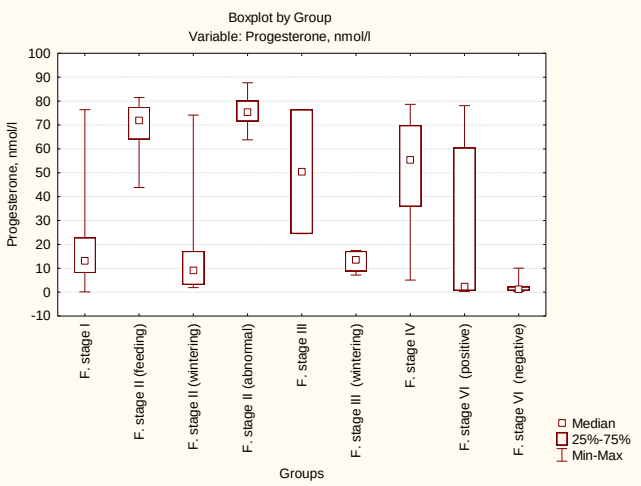


Рис. 5.82. Изменение концентрации прогестерона в сыворотке крови самок осетровых в зависимости от стадии зрелости яичников в условиях установки замкнутого водоснабжения (H-тест Крускала-Уоллиса)

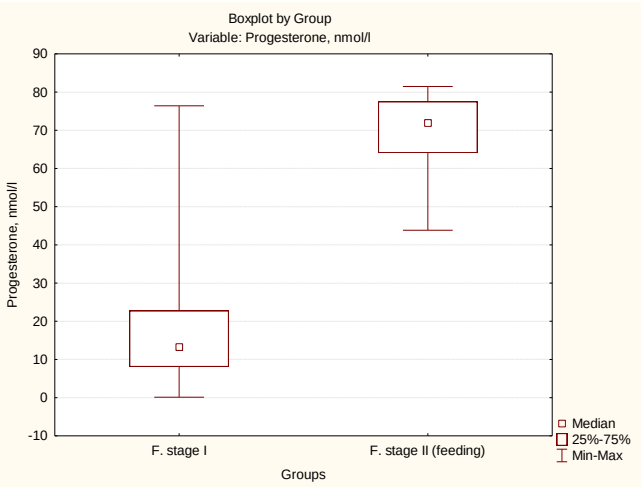


Рис. 5.83. Сравнение концентрации прогестерона в сыворотке крови между самками с яичниками 1-й и 2-й стадии зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,000458)

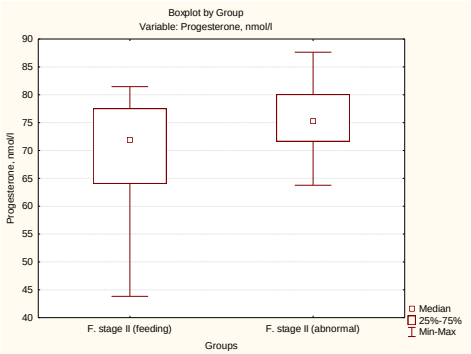


Рис. 5.84. Сравнение концентрации прогестерона в сыворотке крови между самками с яичниками 2-й нормально развивающейся стадии и 2-й туго развивающейся стадии в условиях установки замкнутого водоснабжения
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,11)

Нами было обнаружено, что у самок, которые не имели положительной реакции на инъецирование препаратами, стимулирующими нерест, происходило снижение концентрации прогестерона (рис. 5.85). Однако данные различия были недостоверными. Подробное изучение результатов исследований позволило установить достоверные различия в концентрации прогестерона между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста у гибрида РОЛО (рис. 5.86).

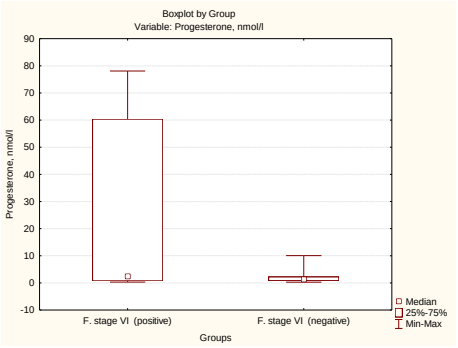


Рис. 5.85. Сравнение концентрации прогестерона в сыворотке крови между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения
(U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,20)

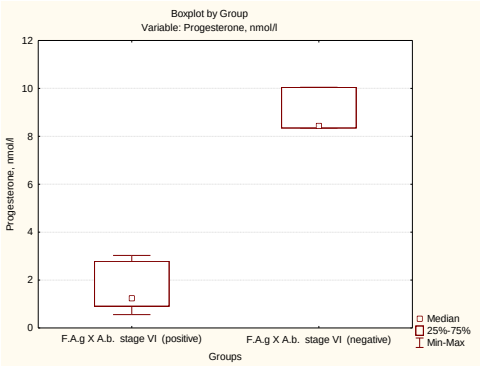


Рис. 5.86. Сравнение концентрации прогестерона в сыворотке крови между самками гибрида РОЛО с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,01)

Исследование изменения концентрации эстрадиола. Установлено, что концентрация эстрадиола в сыворотке крови осетровых рыб из ремонтно-маточных стад и производителей зависит от пола и стадий зрелости гонад.

Так, концентрация эстрадиола у самцов, имеющих семенники 2-й и 3-й стадий зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 2-й стадии зрелости (рис. 5.87). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,023138.

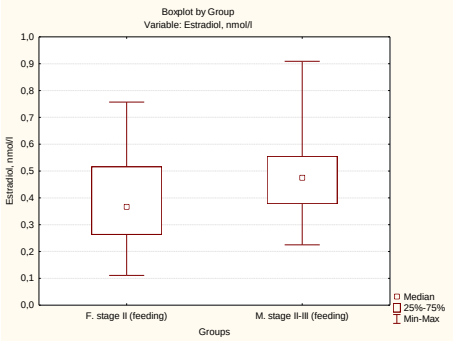


Рис. 5.87. Сравнение концентрации эстрадиола в сыворотке крови между самками и самцами ремонтно-маточного стада стерляди (возраст 1 год 8 мес) на стадии активного нагула в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,023138)

Динамика изменения концентрации эстрадиола у самок осетровых рыб в зависимости от стадии зрелости представлена на рис. 5.88. Как видно из рисунка, концентрация эстрадиола подвержена колебаниям и изменяется в зависимости от стадии развития гонад и времени года. Наиболее высокий уровень эстрадиола наблюдался у самок, имеющих яичники 1-й стадии зрелости, у туго созревающих самок с яичниками 2-й стадии зрелости и у самок после нереста.

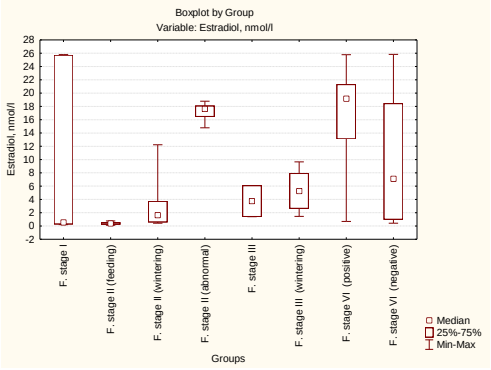


Рис. 5.88. Изменение концентрации эстрадиола в сыворотке крови самок осетровых в зависимости от стадии зрелости яичников в условиях установки замкнутого водоснабжения (H-тест Крускала-Уоллиса)

Концентрация эстрадиола у самок, находящихся на 1-й стадии зрелости, превосходила таковой показатель у самок, находящихся на 2-й стадии зрелости (рис. 5.89). Однако данные различи были недостоверными. Величина различий зависела от вида.

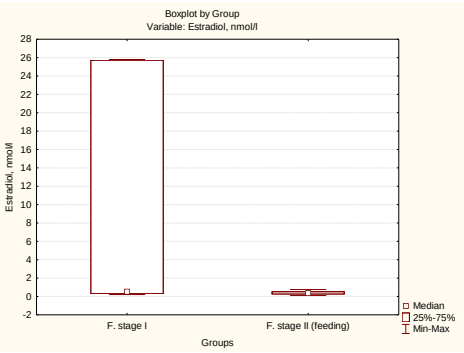


Рис. 5.89. Сравнение концентрации эстрадиола в сыворотке крови между самками с яичниками 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,069)

Исследование изменения концентрации дегидроэпиандростерон-сульфата (ДГЭАС). Установлено, что концентрация ДГЭАС в сыворотке крови осетровых рыб из ремонтно-маточных стад и производителей зависит от пола и стадий зрелости гонад.

Так, концентрация ДГЭАС у самцов, имеющих семенники 2-й и 3-й стадий зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 2-й стадии зрелости (рис. 5.92). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,0000003.

Динамика изменения концентрации ДГЭАС у самок осетровых рыб в зависимости от стадии зрелости представлена на рис. 5.93. Как видно из рисунка, концентрация ДГЭАС подвержена колебаниям и изменяется в зависимости от стадии развития гонад и времени года. Наиболее высокий уровень наблюдался у самок, имеющих яичники 1-й стадии зрелости, у туго созревающих самок с яичниками 2-й стадии зрелости.

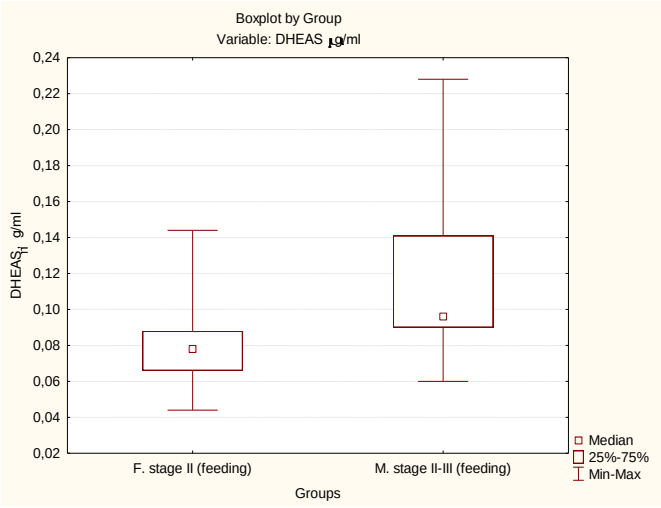


Рис. 5.92. Сравнение концентрации ДГЭАС в сыворотке крови между самками и самцами ремонтно-маточного стада стерляди (возраст 1 год 8 мес) на стадии активного нагула в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000003)

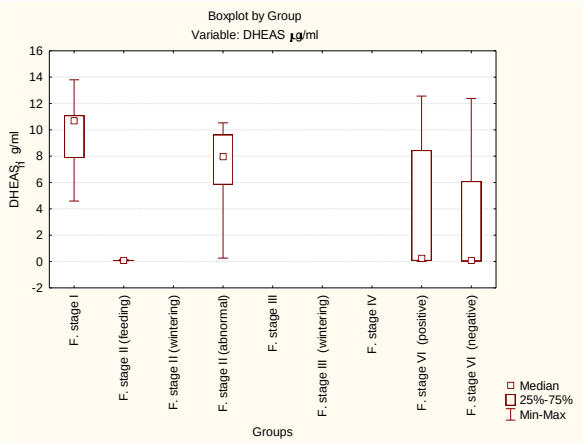


Рис. 5.93. Изменение концентрации дегидроэпиандростерон-сульфата в сыворотке крови самок осетровых в зависимости от стадии зрелости яичников в условиях установки замкнутого водоснабжения (Н-тест Крускала-Уоллиса)

Концентрация ДГЭАС у самок, имеющих яичники 1-й стадии зрелости, превосходила таковой показатель у самок с яичниками 2-й стадии зрелости (рис. 5.94). Эта разница была высокодостоверна – уровень значимости составил P = 0,0009.

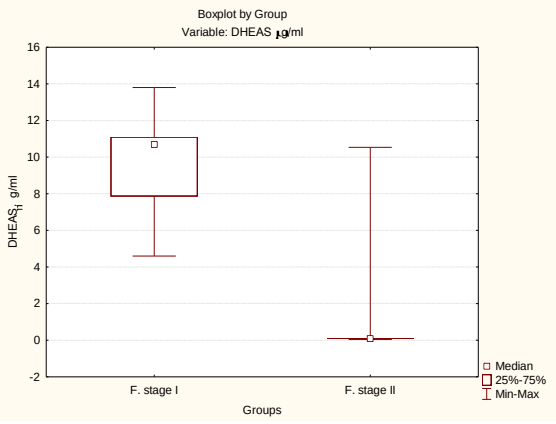


Рис. 5.94. Сравнение концентрации дегидроэпиандростерон-сульфата в сыворотке крови между самками с яичниками 1-й и 2-й стадий зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0009)

Различия в изменении концентрации ДГЭАС в сыворотке крови зависели также от физиологического состояния самок. Так, у самок, у которых наблюдалось нарушение в развитии гонад, т. е. наблюдалась так называемая тугозрелость, нами было установлено превышение концентрации ДГЭАС по сравнению с нормально развивающимися и созревающими самками (рис. 5.95).

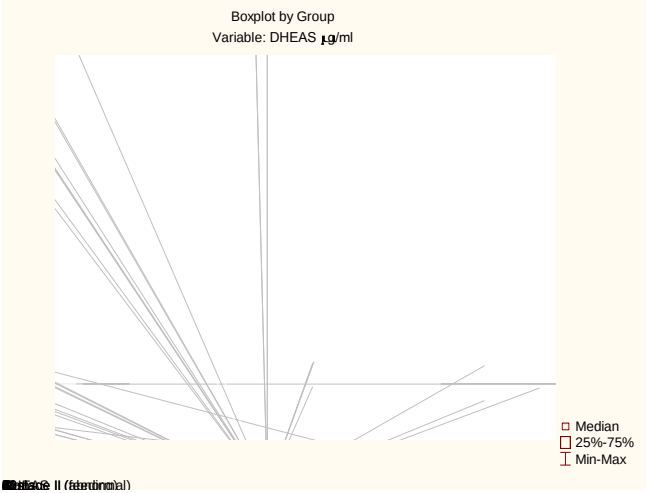


Рис. 5.95. Сравнение концентрации дегидроэпиандростерон-сульфата в сыворотке крови между самками с яичниками 2-й нормально развивающейся стадии и 2-й туго развивающейся стадии в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P= 0,000002)

Исследование изменения концентрации фолликулостимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего (ЛГ) гормонов.

На рис. 5.96–5.100 представлены результаты сравнительных исследований концентрации ФСГ и ЛГ в зависимости от стадий развития гонад. На данных рисунках представлены достоверные результаты, полученные в ходе статистического анализа.

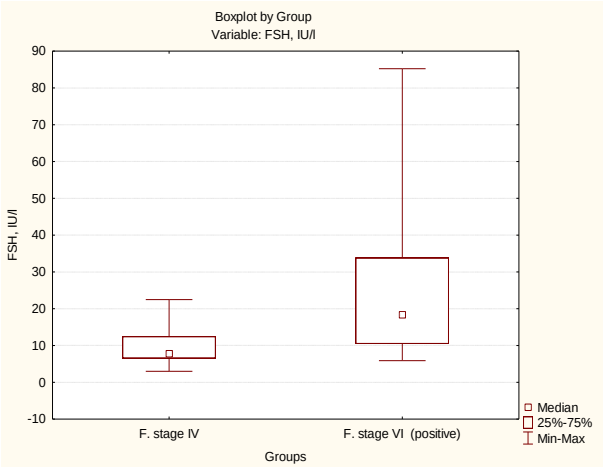


Рис. 5.96. Сравнение концентрации фолликулостимулирующего гормона в сыворотке крови между самками с яичниками 4-й стадии зрелости и самками с положительным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,004)

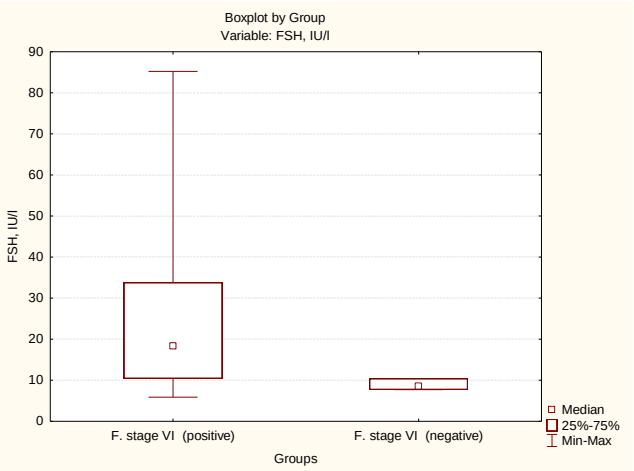


Рис. 5.97. Сравнение концентрации фолликулостимулирующего гормона в сыворотке крови между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,04)

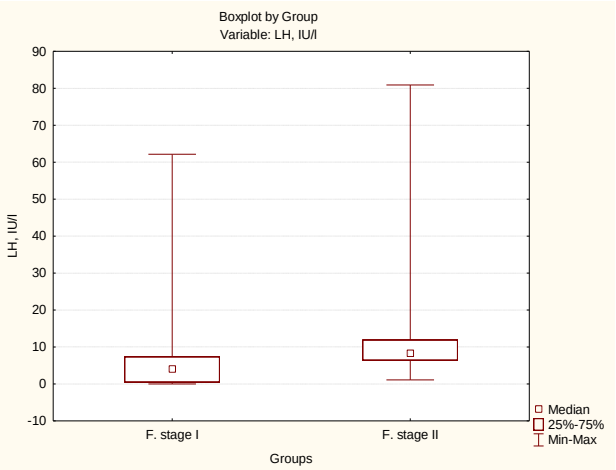


Рис. 5.98. Сравнение концентрации лютеинизирующего гормона в сыворотке крови между самками с яичниками 1-й и 2-й стадиями зрелости в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,04)

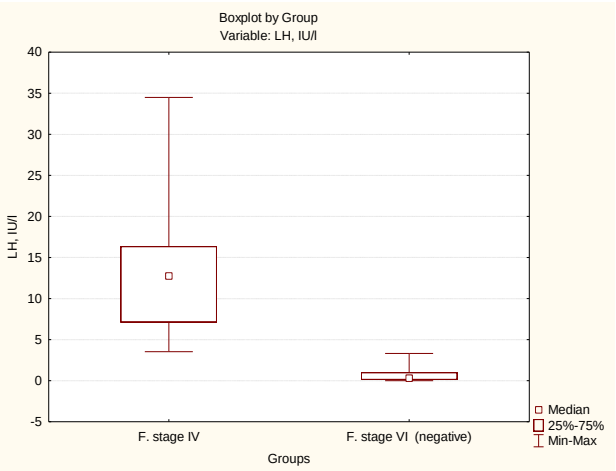


Рис. 5.99. Сравнение концентрации лютеинизирующего гормона в сыворотке крови между самками с яичниками 4-й стадии зрелости и самками с отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0000009)

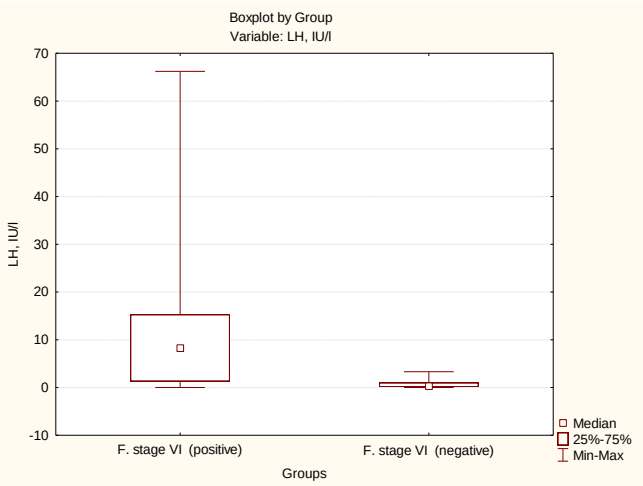


Рис. 5.100. Сравнение концентрации лютеинизирующего гормона в сыворотке крови между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установки замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни, уровень значимости P = 0,0003)

5.3. Диагностическая оценка физиологического состояния ремонтного стада стерляди (*Acipenser ruthenus*) в установках замкнутого водоснабжения Беларуси

На территории Беларуси в историческом аспекте аборигенным видом является стерлядь [52], которая единично встречалась в реках Березина и Днепр в пределах Могилевской области, а ныне является объектом «Красной книги», как вид, находящийся под угрозой вымирания [102]. Только охранные мероприятия уже не способны повлиять на ситуацию, а следовательно, необходимо переходить к искусственному разведению стерляди, в том числе и в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), и ее вселению в те рыболовные угодья, которые могут отвечать жизненным потребностям вида.

В Республике Беларусь новый этап в развитии аквакультуры ценных видов рыб (осетровые, лососевые) наступил с принятием и реализацией положений Государственной программы развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 гг. Для реализации программы планируется создать 16 специализированных индустриальных комплексов на основе технологий УЗВ, в том числе 8 – по выращиванию

форели, 2 – по выращиванию осетровых рыб, 3 – по выращиванию клариевого сома и 3 специализированных питомника по обеспечению товарных комплексов посадочным материалом осетровых и лососевых.

В настоящее время в аквакультуре получают распространение современные методы диагностики, успешно применяемые для контроля репродуктивной системы человека и животных. Такие методы диагностики могут позволить дать оценку физиологическому состоянию рыбы, а также осуществить прогноз успешного полового созревания и получения половых продуктов.

Цель наших исследований заключалась в диагностической оценке современными методами репродуктивной системы ремонтных стад стерляди, выращиваемых в УЗВ.

В тепловодных индустриальных хозяйствах минимальный размер для проведения прижизненной УЗИ-диагностики пола для стерляди составляет 0,3–0,5 кг [237, 236]. При УЗИ-сканировании самцов и самок I стадии зрелости генеративная ткань гонад из-за малых размеров нами не визуализировалась.

Генеративная часть семенника второй стадии зрелости была гипоэхогенной и имела четкие границы. Эхогенность генеративной части семенника 2-й жировой стадии зрелости оставалась невысокой, однако по сравнению со 2-й стадией генеративная часть незначительно увеличивалась, поэтому семенник становился хорошо различим. Эхограмма продольного среза семенника 3-й стадии зрелости у самца стерляди представлена на рис. 5.101, *а*. На 3-й стадии эхогенность генеративной части семенника значительно увеличивалась. За счет высокого темпа роста семенников, в период прекращения линейного роста тела, на эхограмме они выглядят «смятыми» или «дольчатыми», с плавно изгибающимися краями или в виде отдельных округлых гиперэхогенных однородных структур. На эхограмме семенники 4-й стадии зрелости визуализировались как яркая гиперэхогенная мелкозернистая однородная структура с четкими яркими краями и хорошо выраженными оболочками, которые отчетливо видны.

В процессе УЗИ-сканирования гонад самок из ремонтного и маточного стада нами была исследована стадия формирования яйценосных пластин, наблюдающаяся у рыб только один раз в жизни, при этом были обнаружены единичные ооциты начальных ступеней протоплазматического роста. На эхограмме генеративная часть яичников 2-й стадии зрелости выглядит как зернистая «облакообразная» структура

смешанной эхогенности с неровными краями, без оболочек. На эхограмме продольного среза яичников 2-й полужировой стадии видны отдельные яйценосные пластины в виде зон повышенной эхогенности, чередующиеся с гипоэхогенными жировыми зонами. На эхограмме продольного среза яичников 2-й жировой стадии изменяется видимое соотношение генеративной и жировой тканей. Генеративная ткань гонады как с медиальной, так и с латеральной стороны окружена жировой тканью (рис. 5.101, *б*).

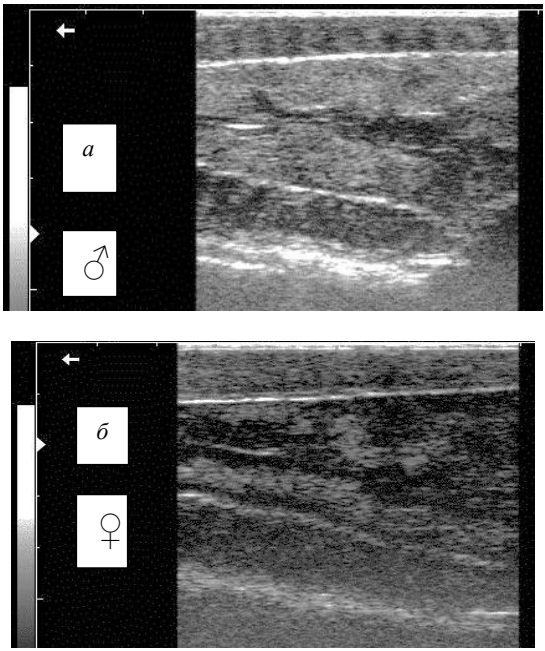


Рис. 5.101. *а* – эхограмма продольного среза семенника 3-й стадии зрелости у самца стерляди (возраст – 1,5 года, масса – 0,54 кг); *б* – эхограмма продольного среза яичника 2-й жировой стадии зрелости у самки стерляди (1,5 года, 1,12 кг)

На эхограмме яичники 3-й стадии зрелости приобретают отчетливо выраженную зернистую структуру. Яйценосные пластины на эхограмме визуализируются в виде светлых размытых участков, «погруженных» в гипоэхогенную генеративную ткань, в которой просматриваются мелкие ооциты. При исследовании гонад на 4-й стадии

зрелости обнаруживались хорошо различимые крупные, однородные по размеру ооциты, близкие к дефинитивным размерам.

Биохимические исследования сыворотки крови получили широкое распространение в практике медицинской и ветеринарной диагностики. Современные методы биохимии позволяют осуществлять углубленное изучение физиологического состояния животных и рыб на самых разных этапах технологического процесса и стадиях жизненного цикла. Однако как в медицине и ветеринарии, так и в аквакультуре необходима разработка физиологических норм в зависимости от вида, пола, возраста, стадий половой зрелости, условий содержания и региона выращивания. Результаты биохимических исследований сыворотки крови ремонтного стада стерляди (возраст 1,5 года) представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. **Биохимические показатели сыворотки крови ремонтного стада стерляди (1,5 года) в условиях УЗВ**

Показатель	Самка	Самец	p-level
ALT, U/l	27,89 ± 2,60	34,39 ± 2,78	0,16
AST, U/l	267,64 ± 6,81	284,39 ± 14,37	0,18
GGT, U/l	2,04 ± 0,42	1,64 ± 0,21	0,75
ALP, U/l	51,14 ± 8,27	62,79 ± 6,53	0,35
LDH, U/l	777,39 ± 63,03	711,05 ± 61,53	0,43
UA, µmol/l	119,22 ± 12,65	156,68 ± 12,54	*0,004*
TP, g/l	36,54 ± 1,56	34,60 ± 1,80	0,39
Chol, mmol/l	2,87 ± 0,18	3,90 ± 0,12	*0,0001*
TG, mmol/l	7,72 ± 0,46	10,40 ± 1,01	*0,05*
Ca, mmol/l	2,07 ± 0,06	2,15 ± 0,08	0,94
P, mmol/l	1,78 ± 0,11	1,92 ± 0,13	0,62

Анализ данных, представленных в табл. 5.1, показывает, что существуют некоторые половые различия в биохимическом состоянии сыворотки крови ремонтного стада стерляди одного возраста (1,5 года). Так, достоверно установлено, что по таким показателям, как мочевая кислота, холестерин и триглицериды, наблюдается превышение аналогичных показателей у самок на 31,4 %, 35,8 и 34,7 %

по сравнению с самцами, соответственно. Такие различия, вероятно, обусловлены особенности формирования половых органов у самцов и самок на различных этапах онтогенеза.

В нашей работе мы осуществляли исследования мелатонина у ремонтного стада стерляди.

Так как продукция мелатонина зависит от длины светового дня, многие животные используют ее как «сезонные часы». У людей, как и у животных, продукция мелатонина летом меньше, чем зимой. Таким образом, мелатонин может регулировать функции, зависящие от фотопериода, – размножение, миграционное поведение, сезонную линьку. У видов птиц и млекопитающих, которые размножаются при длинном дне, мелатонин подавляет секрецию гонадотропинов и снижает уровень половой активности. У животных, размножающихся при коротком световом дне, мелатонин стимулирует половую активность.

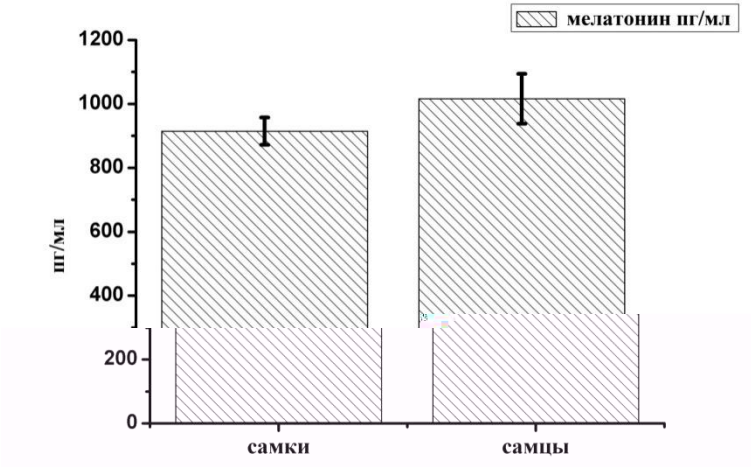


Рис. 5.102. Содержание мелатонина
у ремонтно-маточного стада стерляди

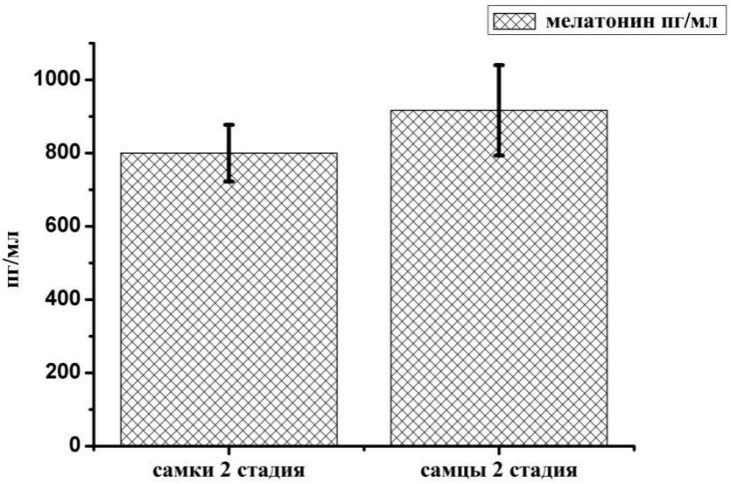


Рис. 5.103. Содержание мелатонина у ремонтно-маточного стада стерляди на 2-й стадии зрелости

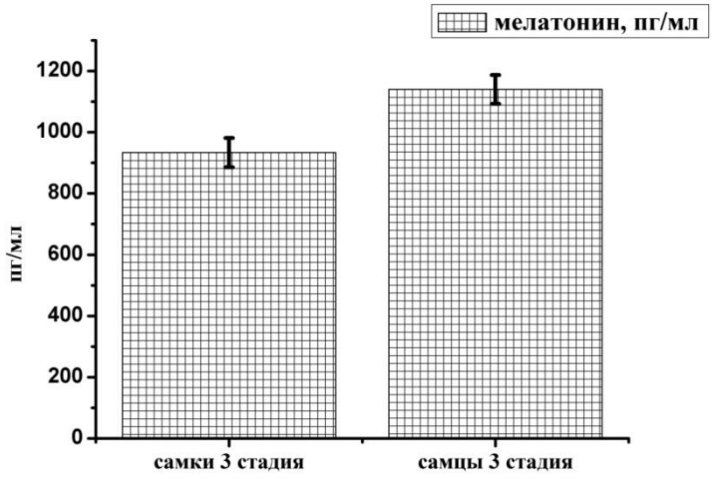


Рис. 5.104. Содержание мелатонина у ремонтно-маточного стада стерляди на 3-й стадии зрелости

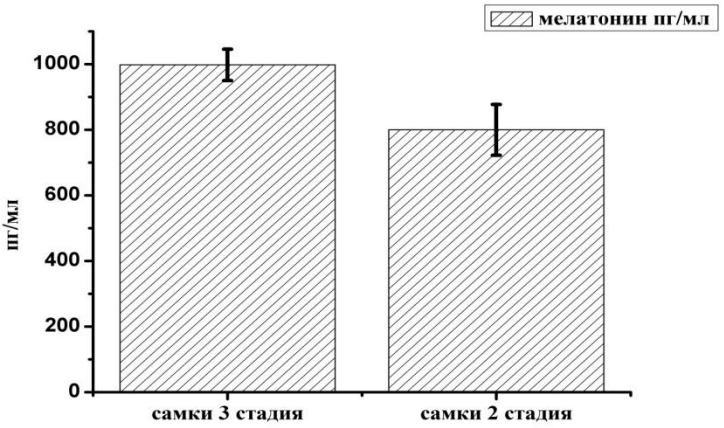


Рис. 5.105. Содержание мелатонина у ремонтно-маточного стада стерляди на 3-й стадии зрелости (самки) и 2-й стадии (самцы)

Анализируя графики, представленные на рис. 5.102–5.105, можем сделать вывод о более высоком содержании мелатонина у самцов при одинаковых стадиях зрелости гонад.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность проведения комплексной диагностической оценки ремонта стерляди, выращиваемой с целью формирования ремонтных и ремонтно-маточных стад. На основании полученных результатов можно сделать вывод о физиологических нормах, которые могут наблюдаться у ремонта стерляди в период выращивания в условиях замкнутого водоснабжения. Использование современных и доступных методов диагностики физиологического состояния рыб может позволить создать систему критериев для отбора в ремонтное и ремонтно-маточное стадо осетровых (и других рыб) на основе развития половых органов (УЗИ-диагностика), обмена веществ и состояния печени (биохимические исследования сыворотки крови), качества половых продуктов самцов (компьютерный анализ подвижности сперматозоидов).

5.4. Ультразвуковая диагностика осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси

У рыб семейства осетровых отсутствует четко выраженный половой диморфизм, что приводит к определенным трудностям, особенно в условиях искусственного воспроизводства. В настоящее время существует несколько различных методов определения пола и стадий зрелости гонад неполовозрелых осетровых рыб: биопсийный метод, основанный на биопсии гонад путем введения через брюшную стенку специального стального щупа [236] или катетера [246]; лапароскопия и прямая пальпация, основанная на введении пальца в тело рыбы через операционное отверстие с последующим визуальным изучением структуры гонады [406]; эндоскопия, основанная на введении медицинского цистоуретроскопа в полость тела через половое отверстие [404]; эндокринологический метод, основанный на оценке концентрации стероидных гормонов; метод низкочастотного инфракрасного сканирования, основанный на определении стадий зрелости с помощью спектров гонад [246]; морфометрия урогенитальной области, основанная на обнаружении морфометрических различий между самками и самцами в урогенитальной области [223]; краниологические измерения, основанные на получении коэффициентов дискриминантного уравнения по результатам биометрических промеров [101].

В последнее время наибольшую популярность получил метод ультразвукового исследования пола (УЗИ), характеризующийся своей простотой, мобильностью и нетравматичностью по отношению к исследуемым рыбам. В настоящее время практически все научные и крупные производственные организации используют только УЗИ-диагностику пола осетровых, поскольку эффективных альтернативных вариантов этому методу пока не существует [236] (рис. 5.106–5.108).

Рис. 5.106. Ветеринарный УЗИ-сканер Dramiński iScan

Рис. 5.107. Ветеринарный УЗИ-сканер Mindray DP-6600

Рис. 5.108. Процесс сканирования осетровых рыб ветеринарным УЗИ-сканером Dramiński iScan

При проведении диагностики пола в икорном осетроводстве наиболее эффективным является ультразвуковое исследование гонад.

Особенности визуализации органов при продольном УЗИ сканировании. При продольном сканировании (рис. 5.109) видны следующие ткани и органы в порядке от сканирующей поверхности датчика (рис. 5.110):

1) кожа – в виде тонкой гиперэхогенной зоны и подкожная жировая клетчатка в виде узкой (2–3 мм) зоны средней эхогенности;

2) мускулатура – широкая зона смешанной эхогенности, собственно мышечная ткань – зона средней яркости (пересекаемая горизонтально полосами смешанной эхогенности), которая чередуется с межмиотомными перегородками из соединительной ткани (на мониторе выглядят как наклонные, почти вертикальные, более яркие, чем мышцы, узкие полосы);

3) серозная оболочка брюшной полости – выглядит как яркая, ровная, четкая граница;

4) гонады – половые железы самок и самцов по-разному визуализируются на экране УЗИ-сканера в зависимости от их эхоструктуры:

• могут иметь оболочку (у самцов), а также сложную структуру эхогенности: гиперэхогенность, гипоэхогенность, анэхогенность или смешанную эхогенность;

• гонады самцов – структуры однородной эхогенности, заключенные в яркие гиперэхогенные оболочки, диагностируемые по всей длине;

• гонады самок – структуры смешанной эхогенности без четких границ (оболочек), при динамическом изучении визуализируются в виде наплывающих облакообразных структур.

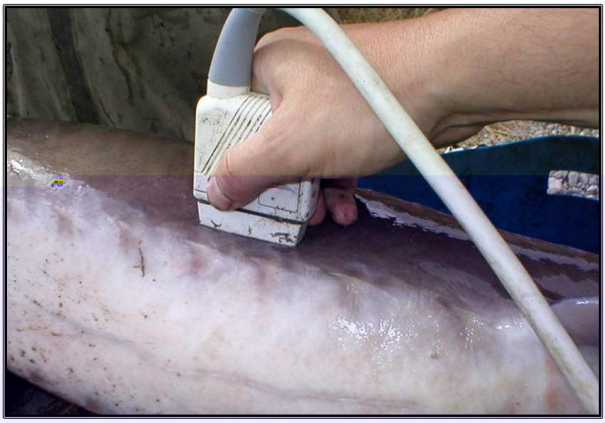


Рис. 5.109. Положение датчика УЗИ на рыбе при продольном сканировании

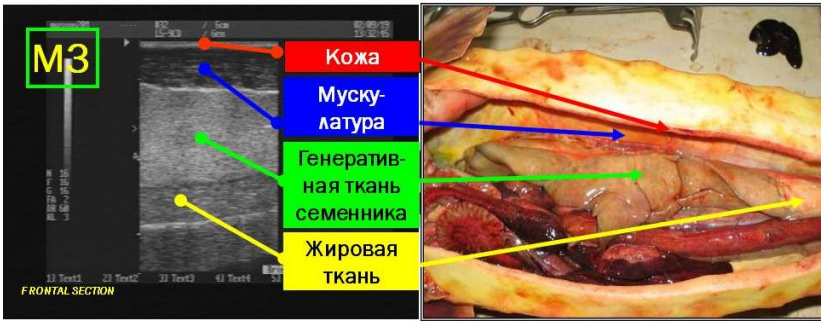


Рис. 5.110. Алгоритм анализа УЗИ-изображений

Самцы – 2-я стадия зрелости (М2). Начиная со 2-й стадии развития генеративная часть гонады самцов легко идентифицируется при продольном и поперечном сканировании, она гипоэхогенна и имеет четкие границы. Жировая часть не развита или незначительно развита с медиальной стороны и практически не визуализируется. Края гонады плавно изогнуты, при этом хорошо просматривается яркая гиперэхогенная оболочка семенника (рис. 5.111).

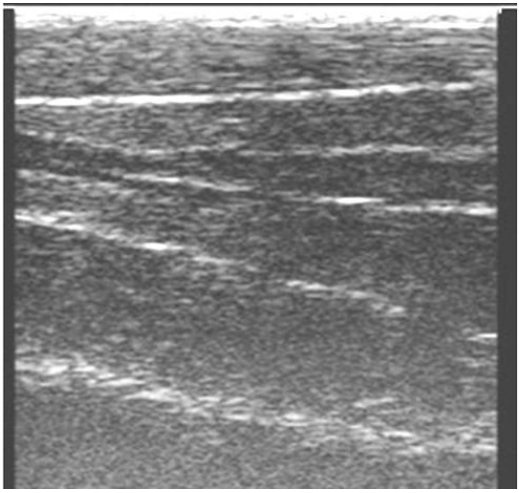


Рис. 5.111. Семенники стерляди 2-й стадии зрелости

Самцы – 2-я жировая стадия зрелости (M2f). Эхогенность генеративной ткани по сравнению со 2-й стадей зрелости незначительно увеличивается, поэтому семенник становится хорошо различим. Генеративная часть семенника приобретает однородную мелкозернистую структуру (на эхограмме – серого цвета) и отделена от жировой (гипоэхогенной, темной) гиперэхогенной границей, визуализирующейся в виде яркой белой линии (рис. 5.112).

Самцы – 3-я стадия зрелости (M3). На 3-й стадии эхогенность генеративной части семенника значительно увеличивается. На эхограмме семенники выглядят как однородная мелкозернистая структура светло-серого цвета с четкими гиперэхогенными границами. За счет высокого темпа роста семенников, в период прекращения линейного роста тела, на эхограмме они выглядят «смятыми» или дольчатыми с плавно изгибающимися краями или имеют вид отдельных округлых гиперэхогенных однородных структур. В некоторых случаях хорошо визуализируются две ярко выраженные гиперэхогенные линии – границы гонады и линии брюшины (рис. 5.113).

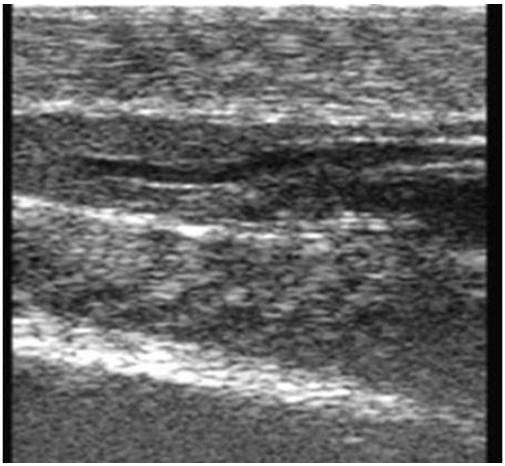


Рис. 5.112. Семенники стерляди 2-й жировой стадии зрелости

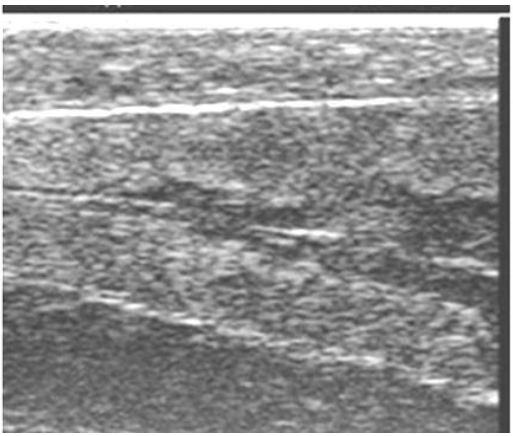


Рис. 5.113. Семенники стерляди 3-й стадии зрелости

Самцы – 4-я стадия зрелости (М4). На эхограмме семенники 4-й стадии развития визуализируются как яркая гиперэхогенная мелкозернистая однородная структура с четкими яркими краями и хорошо выраженными оболочками, которые отчетливо видны на срезах (рис. 5.114).

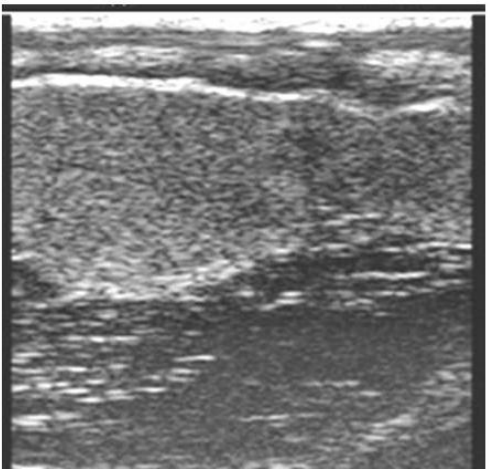


Рис. 5.114. Семенники стерляди 4-й стадии зрелости

Самки – 2-я стадия зрелости (F2). На эхограмме генеративная часть яичников 2-й стадии зрелости выглядит как зернистая облакообразная структура смешанной эхогенности, с неровными краями, без оболочек. Жировая часть гонады незначительна, при продольном и поперечном сканировании визуализируется в виде более темных областей в отличие от более светлой генеративной ткани (рис. 5.115).

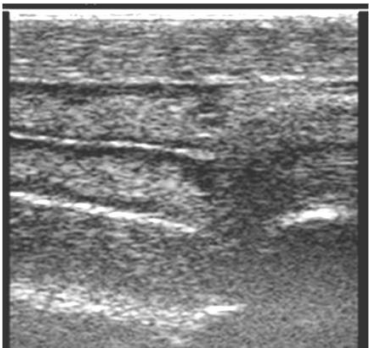


Рис. 5.115. Яичники стерляди 2-й стадии зрелости

Самки – 2-я полужировая стадия зрелости (F2sf). На эхограмме продольного среза яичников 2-й полужировой стадии зрелости видны отдельные яйценосные пластины в виде зон повышенной эхогенности, чередующиеся с гипоэхогенными жировыми зонами. При этом яйценосные пластины прорастают от латеральной в медиальную зону гонады (рис. 5.116).

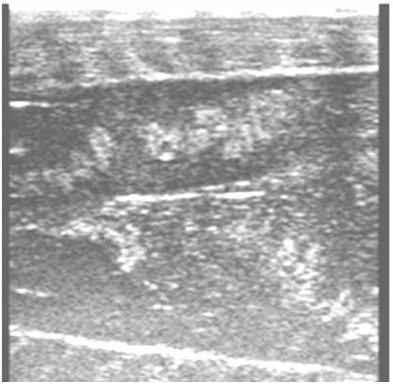


Рис. 5.116. Яичники стерляди 2-й полужировой стадии зрелости

Самки – 2-я жировая стадия зрелости (F2f). На эхограмме продольного среза яичников 2-й жировой стадии зрелости изменяется видимое соотношение генеративной и жировой тканей. Генеративная ткань гонады как с медиальной, так и с латеральной стороны окружена жировой тканью. Между мышцами и гонадой хорошо различима анэхогенная прослойка жира (рис. 5.117).

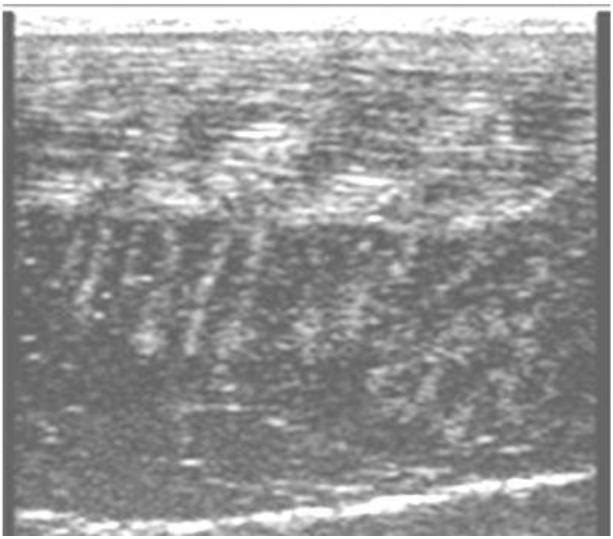


Рис. 5.117. Яичники стерляди 2-й жировой стадии зрелости

Самки – 2–3-й стадии зрелости (F2-3). На эхограмме яичник практически полностью представлен умеренной эхогенной генеративной тканью (серого и светло-серого цвета). Яйценосные пластины пронизывают тело гонады в виде разветвленных вертикальных образований (коралловидной или бахромчатой формы) повышенной эхогенности, прорастающих в темную гипоэхогенную область (жировую ткань) (рис. 5.118).

Рис. 5.118. Яичники стерляди 2–3-й стадии зрелости

Самки – 3-я стадия зрелости (F3). Третья стадия зрелости характеризуется ростом фолликулов, утолщением яйценосных пластин и значительным увеличением линейных размеров гонад и их объема. На эхограмме яичники 3-й стадии зрелости приобретают отчетливо выраженную зернистую структуру. Яйценосные пластины на эхограмме визуализируются в виде светлых размытых участков, погруженных в гипоэхогенную генеративную ткань, в которой просматриваются мелкие ооциты (рис. 5.119).

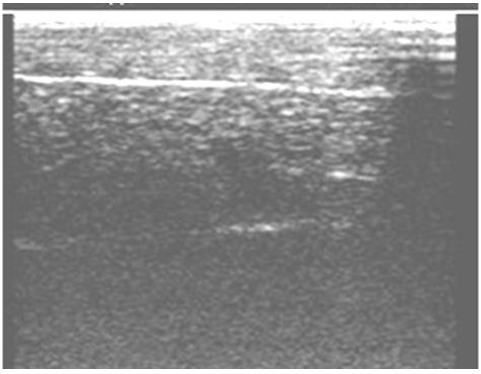


Рис. 5.119. Яичники стерляди 3-й стадии зрелости

Самки – 4-я незавершенная стадия зрелости (F4i). На эхограмме хорошо различимы крупные, однородные по размеру ооциты. Способность яичников пропускать ультразвуковые волны значительно снижается, и медиальная сторона гонады, как и нижележащие органы, уже не просматривается (рис. 5.120).

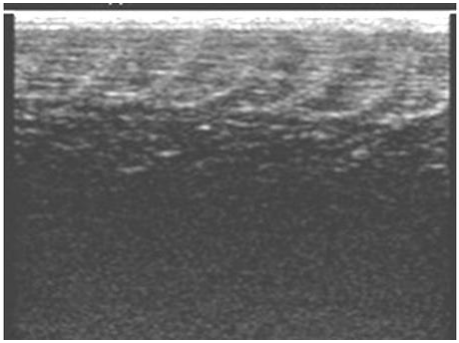


Рис. 5.120. Яичники стерляди 4-й незавершенной стадии зрелости

Самки – 4-я завершенная стадия зрелости (F4c). На эхограмме видны отдельные икринки в виде зернистых включений практически одинакового размера, яичник имеет зернистую неоднородную структуру. Ряды (линии) ооцитов более выражены. На этой стадии ультразвук практически полностью поглощается в верхнем (1 см) слое яичника, и поэтому медиальная часть гонады и нижележащие органы под ней не визуализируются (рис. 5.121).

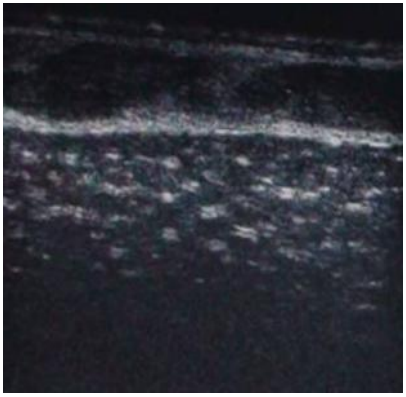


Рис. 5.121. Яичники стерляди 4-й завершенной стадии

Результаты ультразвуковых исследований гонад осетровых рыб, выращенных в условиях аквакультуры

Исследованием особенностей воспроизводительной функции осетровых рыб в различных условиях выращивания в последние годы занимается ряд крупных лабораторий во все мире. Приоритет в исследованиях репродуктивной системы в условиях аквакультуры и механизмов регулирования процессов созревания рыб принадлежит западным ученым. Наиболее значимые работы последних лет – это труды немецких ученных из Лейбниц-института водной экологии и рыбоводства, в которых исследуется роль печени в процессе вителлогенеза самок стерляди в условиях установок замкнутого водоснабжения [394]; работы американских ученых из научно-исследовательского центра аквакультуры и университета Флориды, в которых исследуется влияние азотных загрязнений замкнутых систем на репродуктивную систему осетровых рыб, указывается на нарушения функциональной работы печени с последующим снижением воспроизводительной функции [328]; работы американских и китайских ученых из университета Калифорнии и института Гидробиологии АН Китая, в которых исследуются молекулярные механизмы формирования репродуктивной системы молоди осетровых рыб [273].

Однако остается неисследованным ряд вопросов. Прежде всего, это влияние интенсивных методов выращивания на качество формирования половых органов осетровых рыб; возможность отбора рыб в маточное стадо в зависимости от уровня и скорости развития гонад.

Цель наших исследований заключалась в изучении развития гонад и диагностике некоторых внутренних органов у ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб, выращиваемых в условиях замкнутого водоснабжения (УЗВ) Беларуси.

В тепловодных индустриальных хозяйствах минимальный размер для проведения прижизненной УЗИ-диагностики пола составляет [236]: для стерляди – 0,3–0,5 кг; для русского и ленского осетра, а также их гибрида РОЛО – 2,0–2,5 кг; для белуги 7,0–9,0 кг.

При УЗИ-сканировании самцов и самок 1-й стадии зрелости генеративная ткань гонад из-за малых размеров нами не визуализировалась.

Эхограмма продольного среза семенника 2-й стадии зрелости у самца ленского осетра представлена на рис. 5.122. Генеративная часть семенника 2-й стадии зрелости гипоэхогенна и имеет четкие границы. Жировая часть гонады не развита или незначительно развита с меди-

альной стороны и практически не визуализируется. Края гонады плавно изогнуты, при этом хорошо просматривается яркая гиперэхогенная оболочка семенника.

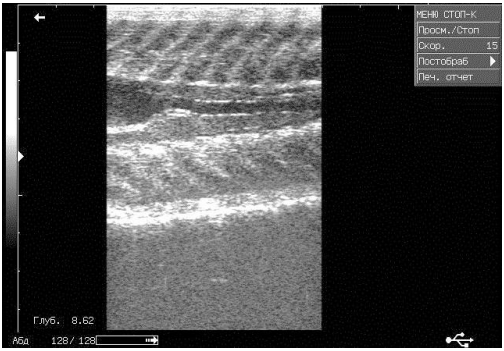


Рис. 5.122. Эхограмма продольного среза семенника 2-й стадии зрелости у самца ленского осетра из ремонтной группы (ФХ «Василек», ЧПУП «Акватория»)

Эхограмма продольного среза семенника 2-й жировой стадии зрелости у самца белуги представлена на рис. 5.123. Эхогенность генеративной части семенника второй жировой стадии зрелости остается невысокой, однако по сравнению со 2-й стадией генеративная часть незначительно увеличивается, поэтому семенник становится хорошо различим. Генеративная часть семенника приобретает однородную мелкозернистую структуру и отделена от жировой гиперэхогенной границей, визуализируется в виде яркой белой линии.

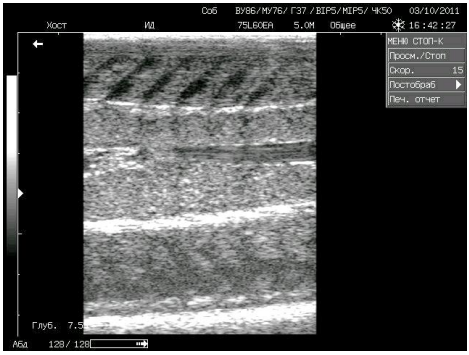


Рис. 5.123. Эхограмма продольного среза семенника 2-й жировой стадии зрелости у самца белуги из ремонтной группы (ООО «Ремона»)

Эхограмма продольного среза семенника 3-й стадии зрелости у самца гибрида РОЛО представлена на рис. 5.124. На 3-й стадии эхогенность генеративной части семенника значительно увеличивается. На эхограмме семенники выглядят как однородная мелкозернистая структура светло-серого цвета с четкими гиперэхогенными границами. За счет высокого темпа роста семенников, в период прекращения линейного роста тела, на эхограмме они выглядят «смятыми» или «дольчатыми», с плавно изгибающимися краями или в виде отдельных округлых гиперэхогенных однородных структур.

Рис. 5.124. Эхограмма продольного среза семенника 3-й стадии зрелости у самца гибрида РОЛО из ремонтной группы (ООО «ТМ»)

Эхограмма продольного среза семенника 4-й стадии зрелости у самца ленского осетра представлена на рис. 5.125. Нами исследована стадия завершения процесса сперматогенеза. На эхограмме семенники 4-й стадии зрелости визуализируются как яркая гиперэхогенная мелкозернистая однородная структура с четкими яркими краями и хорошо выраженными оболочками, которые отчетливо видны.

Рис. 5.125. Эхограмма продольного среза семенника 4-й стадии зрелости у самца ленского осетра из маточного стада (ФХ «Василек», ЧПУП «Акватория»)

В процессе УЗИ-сканирования гонад самок из ремонтного и маточного стада исследована стадия формирования яйценосных пластин, наблюдающаяся у рыб только один раз в жизни, при этом были обнаружены единичные ооциты начальных ступеней протоплазматического роста. При исследовании гонад на 2–3-й стадии зрелости были обнаружены ооциты на стадии трофопластического роста в период начала вителлогенеза. Также исследованы 2-я (рис. 5.126), 2-я полужировая (рис. 5.127), 2-я жировая (рис. 5.128), 3-я (рис. 5.129), 4-я (рис. 5.130) незавершенная стадии зрелости.

Рис. 5.126. Эхограмма продольного среза яичника 2-й стадии зрелости у самки гибрида РОЛО из ремонтного стада (ООО «ТМ»)

На эхограмме генеративная ткань яичников 2-й стадии зрелости выглядит как зернистая «облакообразная» структура смешанной эхогенности, с неровными краями, без оболочек. Жировая часть гонады как при продольном, так и при поперечном сканировании незначительна и визуализируется в виде более темных областей в отличие от более светлой генеративной ткани.

Рис. 5.127. Эхограмма продольного среза яичника 2-й полужировой стадии зрелости у самки гибрида РОЛО из ремонтного стада (ООО «ТМ»)

На эхограмме продольного среза яичников 2-й полужировой стадии видны отдельные яйценосные пластины в виде зон повышенной эхогенности, чередующиеся с гипоэхогенными жировыми зонами. При этом яйценосные пластины «прорастают» от латеральной в медиальную зону гонады.

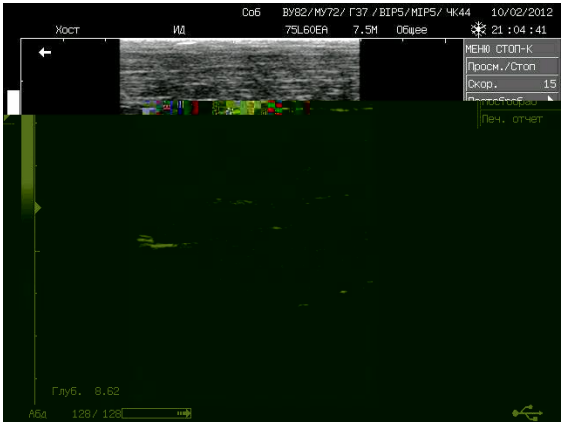


Рис. 5.128. Эхограмма продольного среза яичника 2-й жировой стадии зрелости у позднесозревающей самки гибрида РОЛО (ООО «ТМ»)

На эхограмме продольного среза яичников 2-й жировой стадии изменяется видимое соотношение генеративной и жировой ткани. Генеративная ткань гонады как с медиальной, так и с латеральной стороны окружена жировой тканью. Между мышцами и гонадой хорошо различима анэхогенная прослойка жира.

Рис. 5.129. Эхограмма продольного среза яичника 3-й стадии зрелости у самки ленского осетра (ООО «ТМ»)

3-я стадия зрелости характеризуется ростом фолликулов, утолщением яйценосных пластин и значительным увеличением линейных размеров гонад и их объема. На эхограмме яичники 3-й стадии зрелости приобретают отчетливо выраженную зернистую структуру. Яйценосные пластины на эхограмме визуализируются в виде светлых размытых участков, «погруженных» в гипоэхогенную генеративную ткань, в которой просматриваются мелкие ооциты.

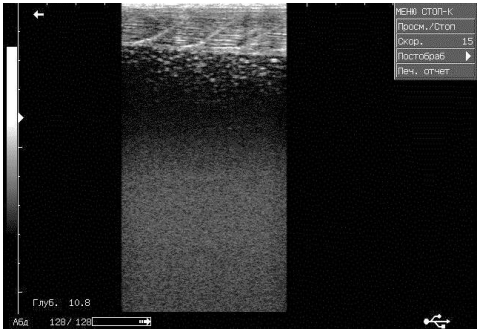


Рис. 5.130. Эхограмма продольного среза яичника 4-й незавершенной стадии зрелости у самки гибрида РОЛО из маточной группы (ФХ «Василек», ЧПУП «Акватория»)

При исследовании гонад на 4-й стадии зрелости обнаруживались хорошо различимые крупные, однородные по размеру ооциты, близкие к дефинитивным размерам.

Во многих хозяйствах Европы и России УЗИ-диагностика пола становится стандартным элементом технологии икорно-товарного осетроводства благодаря своей мобильности и нетравматичности по отношению к исследуемым рыбам. УЗИ-диагностика открывает перспективы для более основательного подхода к формированию маточных стад осетровых.

Нами впервые подробно описаны стадии развития гонад и проведена диагностика некоторых внутренних органов у ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб, выращиваемых в УЗВ Беларуси. У большинства исследуемых рыб наблюдалось нормальное для тепловодных хозяйств развитие гонад и внутренних органов. Различия в развитии половых желез у осетровых, обитающих в условиях пресноводной (ООО «ТМ», ФХ «Василек», ЧПУП «Акватория») и солоноватой УЗВ (ООО «Ремона»), не обнаружены.

5.5. Применение лазерного излучения низкой интенсивности в технологии воспроизводства осетровых рыб

В конце 80-х годов XX ст. научное и общественное мнение не было готово к восприятию идеи о необходимости формирования в искусственных условиях маточных стад различных видов осетровых. Большинство специалистов считали, что необходимое количество производителей всегда можно отловить в природе, а выращивание рыб в неволе до половой зрелости не оправдано ни с биологической, ни с экономической точек зрения [144]. Однако катастрофическое падение естественных запасов осетровых заставило специалистов коренным образом пересмотреть свое отношение к маточным стадам [145].

В настоящее время товарное выращивание и воспроизводство осетровых рыб в искусственных условиях – единственная альтернатива добыче осетровых рыб и залог сохранения ассортимента осетровой продукции практически во всех странах северного полушария [144]. К тому же гидрология ряда рек изменена столь значительно, что естественное размножение осетровых в них становится невозможным. В этом случае ответственность за их сохранение полностью ложится

на плечи человека [141], несмотря на то что осетровые достаточно требовательны к условиям воспроизводства.

Расширение географии осетроводства, рыбоводное освоение различных видов и взятие под контроль человека всего жизненного цикла рыб стимулировали развитие биотехники: были разработаны и испытаны различные типы кормов для осетровых, создано специальное рыбоводное оборудование, усовершенствована методика прижизненного получения икры [144]. В аквакультуре осетровых наметились три основных направления использования маточных стад: производство посадочного материала для товарных хозяйств, выращивание молоди для выпуска в естественные водоемы и получение товарной пищевой икры [145]. Для всех трех названных направлений крайне важными является совершенствование технологии работы с производителями в преднерестовый и нерестовый периоды: повышение физиологического состояния, качества получаемых половых продуктов и др. Одним из таких способов может служить включение в перечень методов и средств, направленных на улучшение качества половых продуктов, низкоинтенсивного лазерного излучения, которое получило широкое распространение в медицине, ветеринарии, животноводстве и начинает использоваться в рыбоводстве [335].

Целью наших исследований являлось изучение возможности влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на эффективность воспроизводства осетровых рыб в условиях аквакультуры.

Изучение содержания половых гормонов в крови рыб позволяет получить важную информацию о физиологическом состоянии производителей: готовности к нересту и ожидаемом ответе на гормональное стимулирование. На рис. 5.131 представлена динамика изменения концентрации половых гормонов самок в период начала подъема температуры воды на нерестовый режим до воздействия лазерным излучением (пробы *A*), а также после воздействия лазерным излучением и после нереста (пробы *B*). Взятие крови непосредственно после курса воздействия лазерным излучением, но перед нерестом не осуществлялось по причине возможной негативной реакции самок на пункцию хвостовой вены в виде ухудшения качества половых продуктов.

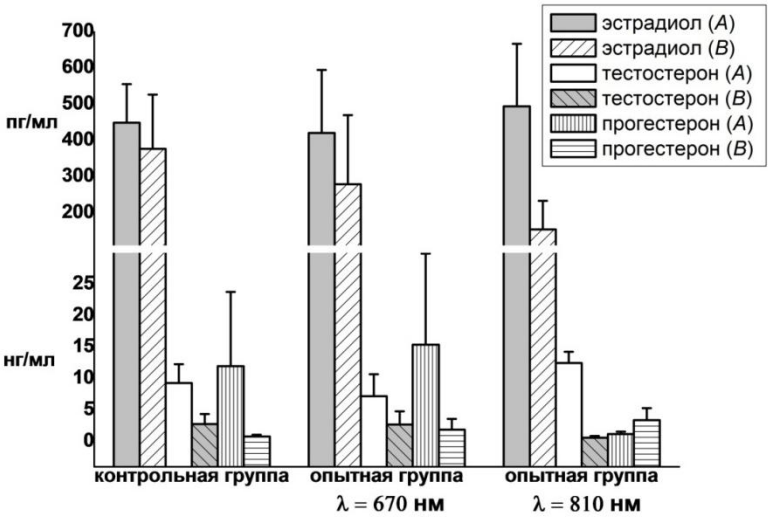


Рис. 5.131. Изменение концентрации половых гормонов самок возвратного гибрида бестера в преднерестовый (пробы *A*) и посленерестовый (пробы *B*) периоды, в зависимости от воздействия лазерным излучением различных спектральных диапазонов (λ = 670 нм и λ = 810 нм)

Как видно из рис. 5.132, у самок во всех исследуемых группах происходит снижение концентрации половых гормонов после нереста. Однако при анализе данных можно заключить, что в группах, самки которых в преднерестовый период подвергались воздействию лазерного излучения, снижение концентрации гормонов после нереста происходило интенсивнее, что может говорить о более эффективной реакции организма на гормональное стимулирование. Особенно сильное снижение концентрации гормонов наблюдалось на примере эстрадиола. Так, если в контрольной группе снижение концентрации эстрадиола после нереста относительно донерестового значения происходило на 16,0 %, то для опытных групп концентрация эстрадиола снижалась на 33,6 % (воздействие лазерным излучением красной области спектра (λ = 670 нм)) и на 68,8 % (воздействие лазерным излучением инфракрасной области спектра (λ = 810 нм)).

В таблице 5.2 представлены значения влияния лазерного излучения на рыбоводно-биологические показатели нереста самок.

Таблица 5.2. **Влияние лазерного излучения на рыбоводно-биологические показатели нереста самок возвратного гибрида бестера**

Параметры	Контрольная группа	Опытная группа (λ = 670 нм, красная область спектра, P = 45 мВт/см^2)	Опытная группа (λ = 810 нм, инфракрасная область спектра, P = 125 мВт/см^2)
Ответ на гормональное стимулирование, %	50	80	80
Оплодотворение, %	91,8	97,3	96,6
Выживаемость при выклеве, %	71,0	84,1	75,9
Выживаемость при переходе на активное питание	68,7	83,2	80,4

Как видно из табл. 5.2, воздействие лазерным излучением на самок в преднерестовый период способно повысить качество искусственного воспроизводства: у самок опытных групп наблюдалось повышение количества особей, положительно реагирующих на гормональное стимулирование, а также более высокое качество половых продуктов в виде увеличения процента оплодотворения и выживаемости в начальные периоды постэмбрионального развития (стадии выклева и перехода на активное питание). При этом лучшие показатели наблюдаются при воздействии лазерным излучением красной области спектра (λ = 670 нм). Следует отметить, что оплодотворение икры как контрольной, так и опытной групп осуществлялось смесью спермы самцов бестера F_1, которые не подвергались облучению.

На рис. 5.132 представлена динамика изменения концентрации половых гормонов самцов в периоды начала подъема температуры воды на нерестовый режим до воздействия лазерным излучением (пробы *A*); после воздействия лазерным излучением до нереста (пробы *B*), а также после нереста (пробы *C*).

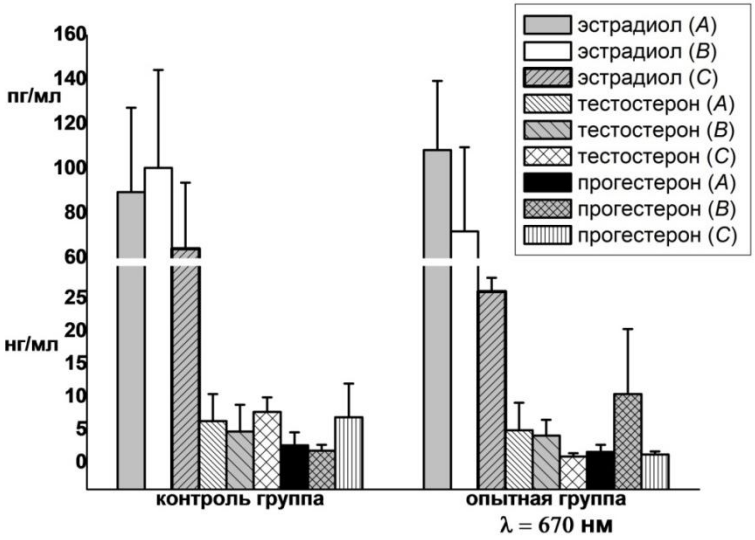


Рис. 5.132. Изменение концентрации половых гормонов самцов возвратного гибрида бестера в преднерестовый (пробы *A, B*) и посленерестовый (пробы *C*) периоды, в зависимости от воздействия лазерным излучением (λ = 670 нм)

Как видно из рис. 5.132, у самцов наблюдаются различные колебания концентрации половых гормонов. Так, если в контрольной и опытной группах происходило снижение концентрации эстрадиола после нереста (пробы *C*), то концентрация тестостерона и прогестерона после нереста увеличивалась в контрольной группе или незначительно снижалась в опытной группе. При этом у самцов, на которых воздействовали лазерным излучением красной области спектра (λ = 670 нм), концентрация эстрадиола после нереста снижалась на 75,9 % (в контрольной группе на 28,2 %). Такое различие в изменении концентрации половых гормонов, вероятно, связано с различной реакцией в контрольной и опытной группах на гормональное стимулирование (табл. 5.3).

Таблица 5.3. **Влияние лазерного излучения на рыбоводно-биологические показатели нереста самцов возвратного гибрида бестера**

Параметры	Контрольная группа	Опытная группа (λ = 670 нм, красная область спектра, P = 45 мВт/см^2)
Ответ на гормональное стимулирование, %	50	100
Объем эякулянта, см^3	6	10,5
Время подвижности сперматозоидов при активации водой, с	130	180
Качество спермы (по шкале Персова), баллы	4,5	4,75

Как видно из табл. 5.3, у самцов, которые подвергались воздействию лазерным излучением красной области спектра (λ = 670 нм), наблюдалось повышение количества особей, положительно реагирующих на гормональное стимулирование, а также более высокое качество половых продуктов в виде увеличения объема эякулянта, времени подвижности сперматозоидов и качества спермы.

Представленные данные свидетельствуют о способности низкоинтенсивного лазерного излучения оказывать влияние на производителей осетровых рыб, повышая эффективность технологии воспроизводства, что выражается в повышении количества положительно реагирующих особей на гормональное инъецирование, увеличении качества половых продуктов и выживаемости потомства. Наиболее оптимальным является воздействие лазерным излучением красной области спектра (λ = 670 нм). Тем не менее остается открытым вопрос о наиболее благоприятных сроках воздействия лазерным излучением, о способности лазерного излучения сокращать сроки полового созревания осетровых рыб, а также о биологических механизмах действия лазерного излучения на процессы созревания половых клеток рыб. Однако все эти вопросы – тема последующих публикаций.

5.6. Оценка подвижности сперматозоидов осетровых рыб в условиях аквакультуры

Проблемы сохранения биоразнообразия водных организмов выдвинулись на первый план из-за серьезной уязвимости водных экосистем и большей, чем на наземные территории, антропогенной нагрузки на

акватории (аккумуляция загрязнений, в том числе поступающих с суши, нефтедобыча и водные транспортировки, сверхнормативное безвозвратное изъятие воды на хозяйственные и агропромышленные нужды и т. п.), что сказывается на утрате естественного нереста, выживаемости и росте молоди. Вследствие этих процессов стремительно сокращается биоразнообразие, исчезают многие виды и популяции рыб и других водных организмов. Поэтому очень важную роль в аквакультуре занимает искусственное воспроизводство [46, 237].

Оценка подвижности сперматозоидов получила широкое распространение в технологии искусственного воспроизводства, поскольку такой метод позволяет установить качество получаемых половых продуктов, выявить аномалии и предотвратить неэффективность оплодотворения [272]. Современные методы компьютерной диагностики качества спермы позволяют проводить точные исследования на высоком методическом уровне [116].

Основная функция сперматозоида состоит в активации яйца, побуждении его к развитию, а также в снабжении гаплоидным ядром [304]. В связи с этим подвижность сперматозоидов является одним из важных параметров [299, 393, 377; 281; 374, 275]. Основная роль в снабжении сперматозоида энергией принадлежит митохондриям, которые у рыб сконцентрированы в средней части сперматозоида. С функциональной точки зрения, подвижность сперматозоидов напрямую зависит от уровня АТФ [91, 180, 391], поэтому способность влияния на уровень АТФ может существенно изменить подвижность сперматозоидов [261]. Сперматозоиды являются популярным биологическим объектом для оценки влияния факторов физической и химической природы на качество мужских половых продуктов [203; 204, 361, 259, 401, 390, 202, 300, 253; 388, 337, 285; 254, 314, 224, 392, 303]. Так, увеличение срока хранения спермы многих животных наблюдалось при добавлении витаминов [249, 272, 255, 319], а введение цианокобаламина в криозащитную среду на начальных этапах криоконсервации спермы русского осетра повышает выживаемость и время движения сперматозоидов [138]. Воздействие на сперму человека рентгеновским излучением угнетало, ультрафиолетовым излучением не влияло [268], а инфракрасным излучением и электромагнитным полем повышало подвижность сперматозоидов [199, 316, 1]. Воздействие гамма-излучением на сперматозоиды крысы оказывало негативное влияние [346], а воздействие лазерным излучением красной области спектра повышало качество спермы индейки и собаки [253, 298]. Кроме того,

воздействие на сперму телапии светом белой, а также красной областей спектра приводило к повышению подвижности сперматозоидов. Воздействие светом синей и ультрафиолетовой областей спектра показывало отрицательный результат [303].

В ветеринарии и животноводстве много лет известны следующие методы оценки качества спермы животных [81]: изучение анатомического строения сперматозоидов, объема эякулята, цвета, запаха, консистенции; оценка подвижности, густоты, интенсивности дыхания, резистентности, скорости обесцвечивания и др.

В животноводстве оценку спермы по подвижности проводят по десятибалльной системе. Наивысшую оценку – 10 баллов – дают сперме в том случае, если все спермии обладают поступательным движением; при оценке 9 баллов – 9 спермиев из 10 обладают прямолинейно-поступательным движением, при оценке 6 баллов – 6 из 10 и так далее [81]. В рыбоводстве активность выражают в баллах по шкале Персова, в которой за 5 баллов принимается быстрое поступательное движение всех спермиев; за 4 балла – быстрое поступательное движение большинства спермиев, но в поле зрения встречаются отдельные сперматозоиды, осуществляющие замедленное зигзагообразное, круговое или колебательное движение; за 3 балла принимается быстрое поступательное движение части спермиев, преобладает замедленное зигзагообразное, круговое или колебательное движение, имеются неподвижные спермии; 2 балла – быстрое поступательное движение редко, у части спермиев колебательное движение, около 75 % спермиев неподвижно; 1 балл – все спермии неподвижны [237].

Густота спермы, определяемая при глазомерной микроскопической оценке, дает приблизительное представление о количестве спермиев в 1 мл эякулята. *Резистентность спермы* выражается количеством миллилитров 1%-ного раствора хлористого натрия, которое нужно добавить к 1 мл спермы, чтобы в ней прекратилось поступательное движение спермиев. *Активность спермы* оценивают по скорости обесцвечивания (восстановления) метиленовой синьки, смешанной со спермой. *Подсчет сперматозоидов* позволяет оценить число сперматозоидов с приемлемой изменчивостью из-за разбавления и подсчета ошибок и оценивать до 6 % на 300 сперматозоидов при наблюдении, когда подсчет 1/500 разбавленной спермы повторяется 3 раза [46].

Все вышеперечисленные методы являются достаточно субъективными, с большим процентом ошибок, которые очень сильно зависят от человеческого фактора.

С развитием высокоскоростной съемки и компьютерных технологий стали возможны исследования движения одновременно нескольких клеток с определением траектории их перемещения и скорости. Использование аппаратно-программных комплексов для определения концентрации, характеристики движения сперматозоидов, а также морфологических критериев клеток легло в основу новой технологии в лабораторной медицине – CASA (computer-assisted semen analysis) – компьютерного анализа подвижности сперматозоидов. CASA позволяет проводить оценку таких показателей подвижности, как криволинейная скорость, прямолинейная скорость, линейность. Совокупное использование полученных данных позволяет дать объективную оценку качеству спермы и преодолеть субъективность интерпретации, присущей стандартной спермограмме [272]. Основное преимущество компьютерного анализа – это достоверное определение. В зависимости от количества одновременно находящихся в поле наблюдения сперматозоидов компьютер рассчитывает параметры движения либо всех, либо большей их части, что невозможно при ручном производстве спермограммы. Другое важное преимущество – воспроизводимость, т. е. результат исследования не зависит от лаборанта, производящего исследование, от уровня его подготовки, степени концентрации внимания или усталости. Можно быть уверенным, что проведенный одному пациенту анализ подвижности в разное время будет правильно отражать изменения показателей, исключая погрешности преаналитической стадии [272]. Следующее преимущество – объективность: анализатор измеряет истинные скорости движения сперматозоидов, позволяя объективно судить о фертильности спермы [272]. Совершенствование компьютерной морфологической диагностики позволяет получить принципиально новую количественную информацию, недоступную врачу при обычном визуальном анализе изображений под микроскопом.

Цель работы – апробация современного компьютерного анализа подвижности сперматозоидов осетровых рыб в условиях аквакультуры.

Простота получения, относительная доступность и массовость сперматозоидов животных и рыб делают их популярными объектами в биологических, ветеринарных и сельскохозяйственных исследованиях, при изучении механизмов искусственного оплодотворения. Применение компьютерного анализа при исследовании качества спермы животных и рыб позволяет стандартизировать методику таких исследований и минимизировать субъективизм и человеческий фактор в процессе получения новых научных результатов.

В большинстве случаев сперма, получаемая у рыб в условиях технологии искусственного воспроизводства, находится в неподвижном состоянии. Однако при добавлении обычной воды, в которой осуществляется выращивание и содержание рыб, сперматозоиды приобретают подвижность. Поэтому очень важно, в целях недопущения преждевременной активации, в процессе получения половых продуктов у самцов рыб тщательно вытирать полотенцем или марлевой салфеткой анальный и хвостовой плавники, а также место у анального отверстия. При этом необходимо следить, чтобы в пробирку не попали вода, полостная жидкость или экскременты рыбы. Сперматозоиды ленского осетра перед активацией водой представлены на рис. 5.133.

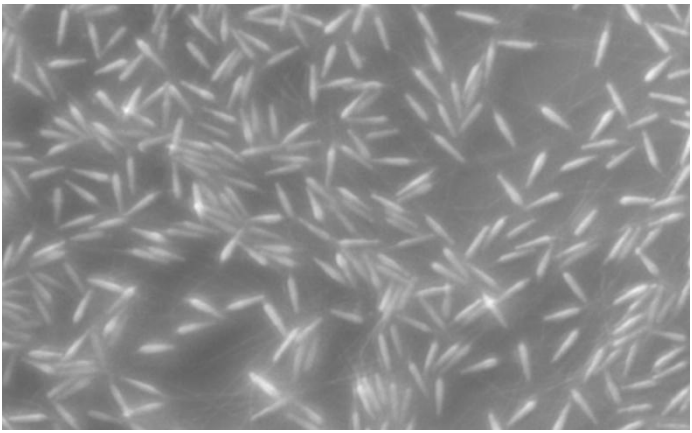


Рис. 5.133. Сперматозоиды ленского осетра перед активацией

В качестве анализируемых параметров мы использовали следующие показатели, получившее распространение при исследовании подвижности сперматозоидов человека в медицинских исследованиях [415]: VCL – криволинейная скорость (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида вдоль его реальной траектории, как она воспринимается в двухмерном пространстве под микроскопом; VSL – прямолинейная скорость (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида вдоль линии, проведенной между начальной и конечной точкой траектории; VAP – средняя скорость движения по траектории (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида по усредненной траектории; WOB – колебание

(величина, описывающая колебание реальной траектории относительно усредненной VAP/VCL); LIN – линейность (линейность реальной траектории). Схема траекторий подвижности сперматозоидов представлена на рис. 5.134.

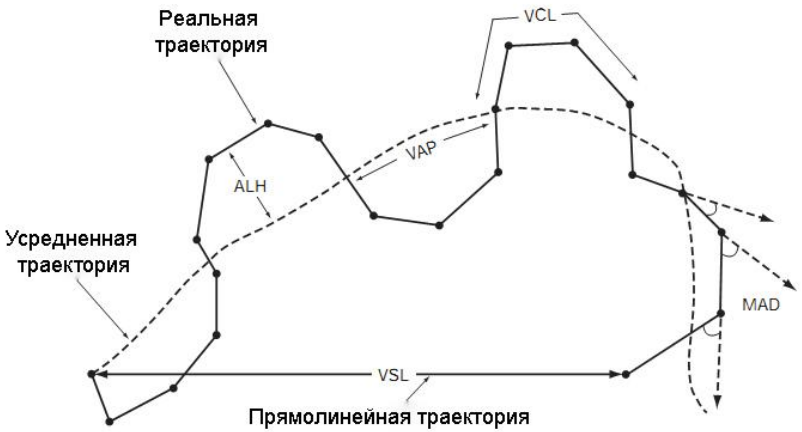


Рис. 5.134. Показатели подвижности сперматозоидов ленского осетра [415]

Результаты апробации метода оценки подвижности сперматозоидов осетровых рыб в условиях аквакультуры с использованием современных методов компьютерной диагностики представлены в таблице. В результате наших исследований было установлено, что средняя криволинейная скорость сперматозоидов (VCL) ленского осетра, которая представляет собой усредненную по времени скорость движения сперматозоидов вдоль его реальной траектории, составила 173,37 ± 1,59 микрон/с. Средняя прямолинейная скорость (VSL), которая представляет собой усредненную по времени скорость движения сперматозоидов вдоль линии, проведенной между начальной и конечной точками траектории, составила 164,19 ± 1,82 микрон/с. Средняя скорость движения по траектории (VAP), которая представляет собой усредненную по времени скорость движения сперматозоида по усредненной траектории, составила 171,22 ± 1,20 микрон/с.

Такой подробный анализ подвижности в случае необходимости оценки массового количества сперматозоидов от племенных производителей рыб позволяет формировать сперму по категориям подвижности, выделяя пробы с быстрым и прямолинейным движением, пробы с

медленным прямолинейным движением, пробы с непрямолинейным движением и пробы с полностью неподвижными сперматозоидами. При этом появляется возможность выявлять умершие или умирающие от старости сперматозоиды на фоне здоровых, молодых сперматозоидов.

Таблица 5.4. **Результаты измерений подвижности сперматозоидов осетровых рыб с использованием автоматизированного программного обеспечения ММС Сперм**

Показатель подвижности	Единица измерений	Среднее значение	Коэффициент вариации, %	Среднее квадратичное отклонение
VCL	микрон/с	173,37 ± 1,59	2,9	5,05
VSL	микрон/с	164,19 ± 1,82	3,5	5,76
VAP	микрон/с	171,22 ± 1,20	2,2	3,81
WOB	–	0,99 ± 0,01	2,7	0,02
LIN	–	0,95 ± 0,01	3,5	0,03
STR	–	0,96 ± 0,10	3,2	0,31

В наших исследованиях мы также определяли продолжительность подвижности сперматозоидов, а также зависимость средней криволинейной скорости (VCL) от времени после активации водой (рис. 5.135).

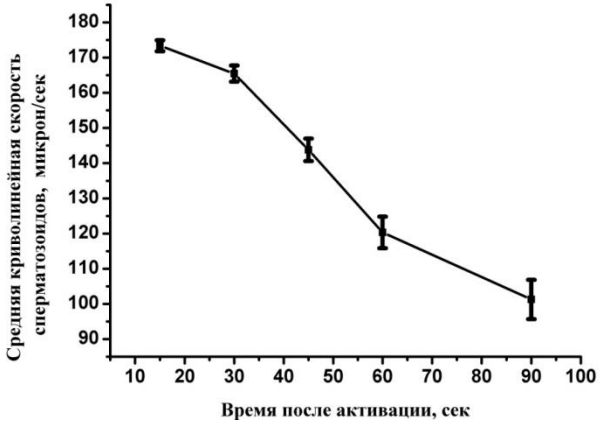


Рис. 5.135. Зависимость средней криволинейной скорости (VCL) от времени после активации водой

Как видно из данных, представленных на рис. 5.135, максимальные показатели средней криволинейной скорости у ленского осетра наблюдаются в первые 30 секунд после активации водой. Данный показатель стремительно падает уже к 90 секундам после активации. После 90 секунд в наших исследованиях наблюдалось значительное уменьшение показателя VCL, а затем полное прекращение подвижности. Аналогичная зависимость от времени после активации наблюдалась при изучении показателя процента (доли) подвижных сперматозоидов. Поэтому в процессе искусственного оплодотворения икры ленского осетра (и в целом осетровых) очень важно соблюдать четкую, последовательную технологическую цепочку и не допускать медлительности в действиях начиная с момента запуска (разбавления спермы) до момента добавления осеменяющего раствора к икре. Наши результаты показывают, что длительное осеменение икры (более 90 секунд) нецелесообразно, так как возможность успешного оплодотворения икры резко снижается. Учитывая высокую клеящую способность икры, которая наступает уже через 3–5 минут после оплодотворения, передержка икры в осеменяющем растворе опасна, так как может вызвать преждевременное приклеивание икры в осеменяющей емкости.

Использование компьютерных программ для исследования качества спермы рыб является перспективным для аквакультуры, особенно для племенной работы с ценными и редкими видами рыб. При этом компьютерный анализ дает ряд преимуществ. Например, захват изображений и видеоклипов в формате AVI с устройства ввода изображения, хранение текстовых данных, изображений и видеоклипов во встроенной базе данных, возможность проводить ручные измерения для индивидуальных задач. Статистика позволяет сделать дополнительные выводы о качестве спермы. Эти поля базы, как и результаты анализа подвижности и морфологии сперматозоидов, заполняются автоматически в процессе проведения анализа спермы. Статистику можно выводить на печать, предварительно выбрав соответствующий шаблон отчета.

В процессе исследований нами впервые был применен компьютерный анализ оценки качества спермы рыб в условиях аквакультуры Беларуси. При этом открытым остается вопрос нормирования качества спермы рыб не только у осетровых, но и других объектов аквакультуры. Однако этот вопрос – тема последующих публикаций.

5.7. Влияние оптического излучения, магнитного поля и их сочетания на сперматозоиды осетровых рыб

Интенсивное выращивание объектов аквакультуры сталкивается с проблемой нарушения воспроизводительной функции ценных видов рыб, в том числе и осетровых [1, 5]. В связи с этим возникла необходимость в разработке эффективных методов повышения функции воспроизводства, в том числе и за счет использования нетрадиционных методов воздействия. Одним из таких методов является низкоинтенсивное оптическое излучение [339].

Нами установлено, что воздействие на сперму самцов осетровых рыб лазерным излучением красной области спектра в сочетании с магнитным полем приводит к повышению активности сперматозоидов, что выражается в увеличении времени поступательного движения сперматозоидов после активации водой.

Вышесказанное подтверждается данными, представленными в табл. 5.5.

Таблица 5.5. **Влияние лазерного излучения красной области спектра $\lambda = 670 \pm 20$ нм, $P = 3{,}0 \pm 0{,}2$ мВт/см^2, влияние постоянного магнитного поля магнитной индукцией 50 ± 5 мТл, а также совместного действия лазерного излучения $\lambda = 670 \pm 20$ нм, $P = 3{,}0 \pm 0{,}2$ мВт/см^2 и постоянного магнитного поля магнитной индукцией 50 ± 5 мТл 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, γ, %	Уровень значимости
1	2	3	4	5
Контроль	0	120,0 ± 7,6	100	–
Магнитное поле 50 ± 5 мТл	10	124,2 ± 7,4	103,5 ± 1,6	–
	20	122,3 ± 9,5	101,9 ± 6,7	–
	30	125,3 ± 5,0	104,4 ± 1,1	–
	40	123,8 ± 3,7	103,2 ± 4,5	–
	50	125,0 ± 9,0	104,2 ± 2,3	–
	60	126,8 ± 8,8	105,7 ± 4,2	$P < 0{,}05$
Лазерное излучение (λ = 670 нм, красная область спектра, P = 3,0±0,2 мВт/см^2)	10	168,2 ± 7,8	140,2 ± 3,4	$P < 0{,}05$
	20	183,7 ± 7,5	153,1 ± 2,7	$P < 0{,}05$
	30	210,6 ± 9,1	175,5 ± 4,2	$P < 0{,}05$
	40	260,0 ± 7,6	216,7 ± 6,4	$P < 0{,}05$
	50	252,0 ± 8,9	210,0 ± 5,6	$P < 0{,}05$
	60	241,6 ± 8,6	201,3 ± 3,2	–

Окончание табл. 5.5

1	2	3	4	5
Лазерное излучение (λ = 670 нм, красная область спектра, P = 3,0±0,2 мВт/см^2) + магнитное поле (50 ± 5 мТл)	10	199,6 ± 9,4	166,3 ± 5,6	P < 0,05
	20	294,0 ± 10,2	245,0 ± 6,8	P < 0,05
	30	252,5 ± 11,2	210,4 ± 5,4	P < 0,05
	40	226,4 ± 7,8	188,7 ± 7,0	P < 0,05
	50	204,0 ± 8,9	170,0 ± 5,9	–
	60	171,8±7,6	143,2 ± 6,9	–

Из представленных данных следует, что воздействие постоянного магнитного поля 50±5 мТл на сперму самцов осетровых рыб приводит к повышению качества половых продуктов, что проявляется в увеличении времени активности сперматозоидов после активации водой. Однако стимулирующее действие постоянного магнитного поля являлось слабовыраженным. Максимальный эффект наблюдался при времени воздействия 60 с и составлял γ = 105,7 ± 4,2 %. В этом случае максимальное время подвижности сперматозоидов составляло t_o = 126,8 ± 8,8 с, тогда как для контрольных образцов t_k = 120,0 ± 7,6 с.

Более выраженное активирующее действие на сперму осетровых рыб оказывало воздействие лазерным излучением красной области спектра λ = 670 нм, P = 3,0 ± 0,2 мВт/см^2. При оптимальных условиях воздействия лазерным излучением в отсутствие магнитного поля время подвижности сперматозоидов составляло t_o = 260,0 ± 7,6 с (γ = 216,7 ± 6,4 %) и наблюдалось при экспозиции t = 40 с. Уменьшение или увеличение времени экспозиции приводит к снижению стимулирующего действия.

Однако наиболее выраженное активирующее действие на сперму осетровых рыб оказывало совместное действие лазерного излучения λ = 670 ± 20 нм, P = 3,0 ± 0,2 мВт/см^2 и постоянного магнитного поля 50 ± 5 мТл. При совместном действии указанных физических факторов максимальный эффект стимуляции наблюдался при времени воздействия 20 с и составлял γ = 245 ± 6,8 % (t_o = 294,0 ± 10,2 с). Достаточно выраженным также являлось воздействие лазерного излучения и постоянного магнитного поля в течение 30 с: γ = 245 ± 6,8 % (t_o = 210,4 ± 5,4 с).

Данный способ стимуляции подвижности сперматозоидов не является простой суммой двух известных способов, основанных на воздействии физических факторов. При воздействии только магнитного поля максимальное стимулирующее действие наблюдалось при экспозиции 60 с. При воздействии только лазерным излучением максимальное

стимулирующее действие наблюдалось при экспозиции 40 с. При одновременном действии двух физических факторов максимальный стимулирующий эффект на сперму осетровых рыб наблюдался при экспозиции 20–30 с. Таким образом, при одновременном действии двух физических факторов оптимальное время воздействия ниже, чем каждого из них в отдельности. Синергизм действия двух физических факторов проявлялся в том, что эффект стимуляции при одновременном действии лазерного излучения и магнитного поля $\gamma = 245 \pm 6{,}8$ % в течение 20 с значительно превышал сумму эффектов ($\gamma = 101{,}9 + 153{,}1 = 155{,}0$ %) каждого из воздействующих факторов в отдельности: $\gamma = 101{,}9 \pm 6{,}7$ % (для магнитного поля) и $\gamma = 153{,}1 \pm 2{,}7$ % (для лазерного излучения). Все это свидетельствует, что данный способ обработки спермы рыб не является простой суммой двух известных способов.

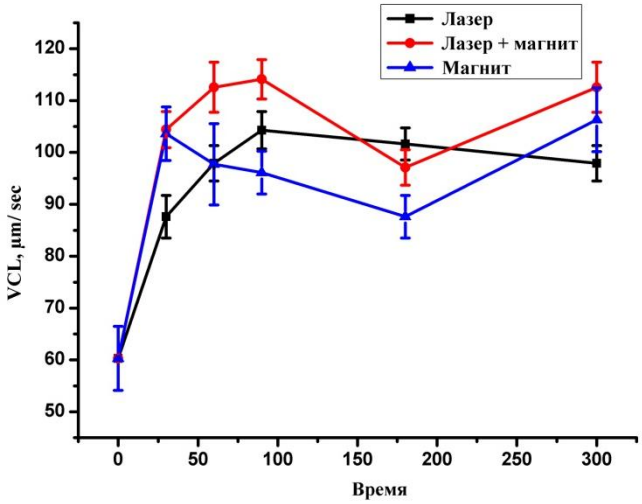


Рис. 5.136. Криволинейная скорость всех сперматозоидов, микрон/с

Нами было установлено, что лазерное излучение совместно с магнитным полем оказывает стимулирующие влияние на другие параметры подвижности сперматозоидов (рис. 5.136, 5.137), а также на активность креатининовой киназы сыворотки спермы осетровых рыб (рис. 5.138).

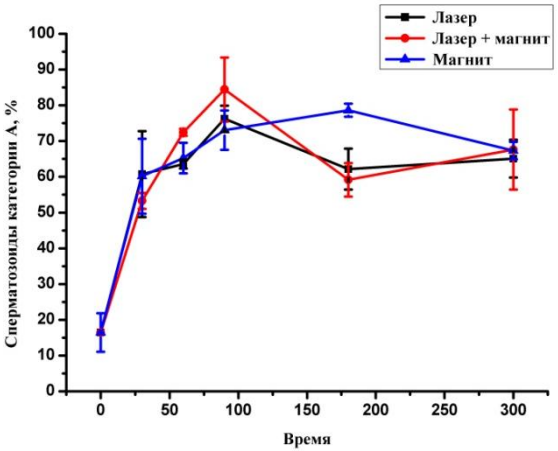


Рис. 5.137. Доля подвижных сперматозоидов категории А, %

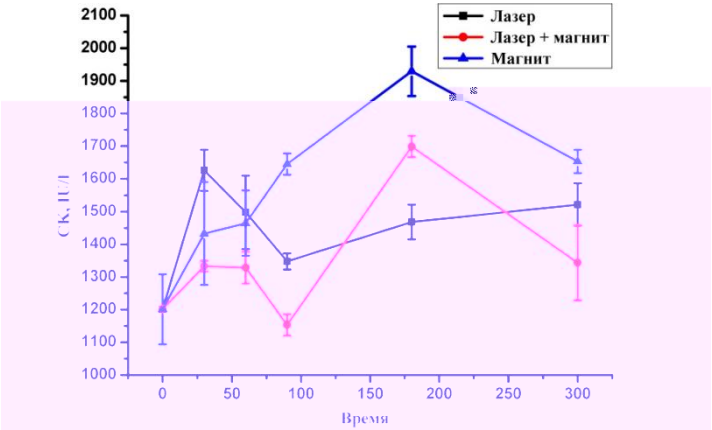


Рис. 5.138. Активность креатининовой киназы, МЕ/л

Таким образом, предлагаемый нами способ позволяет увеличить время подвижности сперматозоидов после активации водой и повысить вероятность успешного оплодотворения икры. Данный способ может использоваться в практике осетроводства с целью сохранения качества спермы самцов при длительном хранении без консервации в

условиях, когда сбор спермы самцов уже осуществлен, а овуляции икры самок растягиваются на продолжительное время.

Нами были также проведены исследования по изучению расстояния между магнитами в ходе воздействия магнитного поля на показатели подвижности сперматозоидов осетровых рыб.

Сперма осетрового гибрида бестер подвергалась воздействию магнитным полем. Расстояние между магнитами были 1 и 3 см.

Исследование осуществлялись через 1 сутки после взятия спермы у самцов. В течение периода хранения происходило прогнозируемое плавное снижения показателей подвижности, что вызвано уменьшением содержания кислорода в пробе и другими естественными причинами.

Регистрация показателей подвижности осуществлялась непосредственно в момент воздействия магнитного поля.

Регистрировались следующие показатели подвижности: VCL – криволинейная скорость (микрон/с), LIN – линейность, STR – прямолинейность. Сравнение между исследуемыми группами осуществлялось только по сперматозоидам категории А (высокоподвижные сперматозоиды с высокой оплодотворяющей способностью).

На основании полученных результатов (рис. 5.139–5.141) нами были сделаны следующие основные выводы:

1. Магнитное поле не оказало достоверного влияния на показатель VCL.

2. Магнитное поле оказало достоверное влияние на изменение линейной траектории движения (LIN и STR). При уменьшении данных показателей линейность траектории уменьшается (ухудшается), т. е. траектория движения меньше становится похожа на линию. В контрольной группе у сперматозоидов наблюдалось высокое колебание траектории движения сперматозоидов относительно прямой линии движения. При помещении сперматозоидов в магнитное поле происходило выравнивание траектории движения относительно прямой линии. Показатели LIN и STR были максимальные у группы, когда магниты находились на расстоянии 3 см.

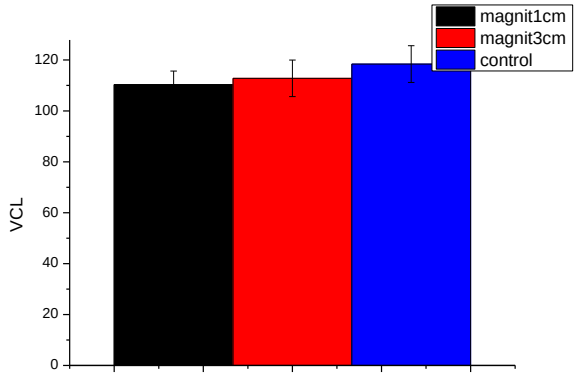


Рис. 5.139. Влияние расстояния между магнитами на криволинейную скорость сперматозоидов осетровых рыб

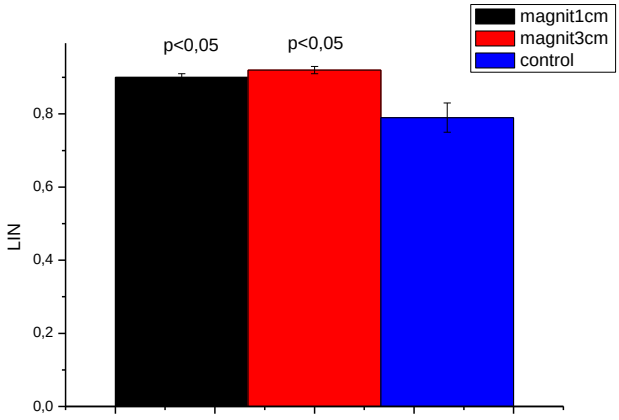


Рис. 5.140. Влияние расстояния между магнитами на линейность траектории сперматозоидов осетровых рыб

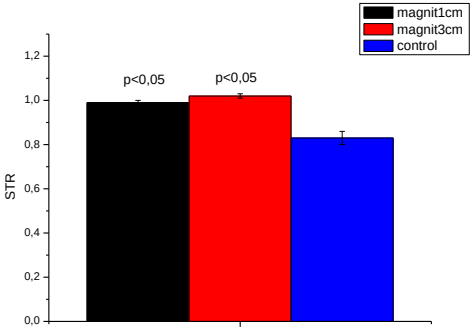


Рис. 5.141. Влияние расстояния между магнитами на криволинейность траектории сперматозоидов осетровых рыб

На нижеприведенных рисунках представлены реальные траектории движения, полученные в результате обработки видеоизображения подвижности сперматозоидов через плагин CASA программы ImageJ.
Как видно из рис. 5.142–5.144, в траектории движения контрольной группы наблюдалось множество «шумов», т. е. колебаний относительной траектории. Данные «шумы» постепенно сглаживались в магнитном поле.

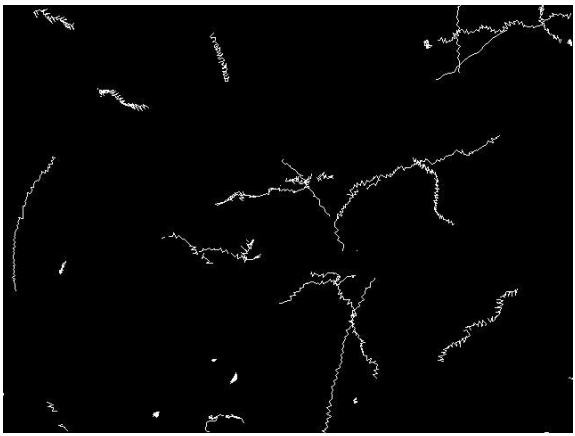


Рис. 5.142. Траектории движения сперматозоидов в контрольной группе

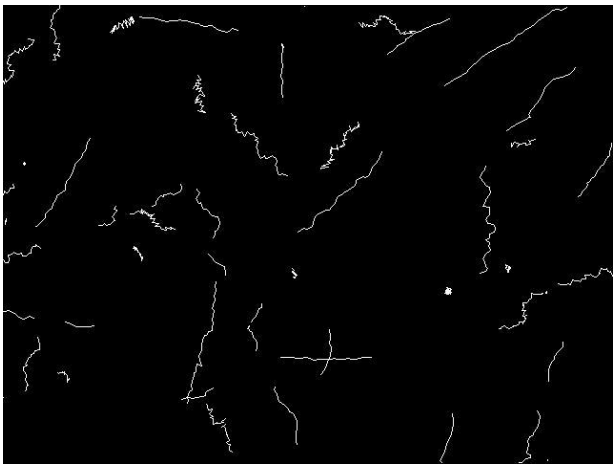


Рис. 5.143. Траектории движения сперматозоидов между магнитами на расстоянии 1 см

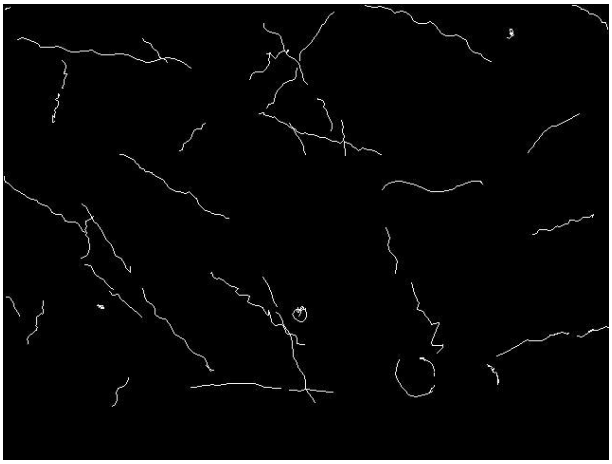


Рис. 5.144. Траектории движения сперматозоидов между магнитами на расстоянии 3 см

Выполненные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. С помощью конфокальной лазерной микроскопии показано, что приложение постоянного магнитного поля индукцией 50 мТл влияет

на глубину проникновения лазерного излучения в многослойную ткань живых сперматозоидов. Такое влияние магнитного поля отсутствует при контроле глубины проникновения лазерного излучения в мертвую мышечную ткань. Модифицирующее действие магнитного поля на глубину проникновения лазерного излучения в ткань сперматозоидов может быть обусловлено изменением структуры клеток под действием указанного физического фактора.

2. С помощью телевизионного контроля (в поле зрения микроскопа) динамики движения сперматозоидов после их активации водой установлено, что приложение постоянного магнитного поля индукцией 50 мТл изменяет динамику движения спермиев: отмечается индуцированное магнитным полем изменение скорости прямо- и криволинейного движения и характер траекторий движения; наблюдается выраженное влияние магнитного поля на распределение клеток по скоростям движения. Данный эффект является подтверждением жидкокристаллического характера строения сперматозоидов рыб.

3. Прямым доказательством жидкокристаллического характера строения сперматозоидов является присущее им двулучепреломление.

4. Показано, что предварительное воздействие как лазерного, так и постоянного магнитного излучения влияет на функциональную и биохимическую активность спермы: а) скорость движения сперматозоидов после их активации водой; б) процент активно-подвижных сперматозоидов в общей совокупности образцов; в) активность ферментов, входящих в состав сперматозоидов.

5.8. Роль поляризации и когерентности оптического излучения низкой эффективности во влиянии на подвижность сперматозоидов осетровых рыб

Проблема исследования закономерностей влияния физических полей (лазерное излучение, излучение светодиодных источников, излучение миллиметровых длин волн – КВЧ-диапазон, магнитное и электрическое поле, ультразвук) на биологические объекты различного уровня организации не утрачивает своей актуальности. Интерес к данной области исследований обусловлен как экологическим фактором (усиливающимся «загрязнением» окружающей среды полями индустриального происхождения), так и использованием факторов физической природы в лечебных и диагностических медицинских технологиях. При этом для оптимизации физиотерапевтических воздействий

необходимым этапом, предшествующим клиническим испытаниям, является проведение исследований на организменном уровне. Как правило, такие исследования проводят на экспериментальных животных (крысах, кроликах), сравнивая действие физических полей при 2 – 3 его параметрах, важных, на взгляд экспериментатора, для обоснованного заключения. Однако вследствие сложности проведения множественных экспериментов на лабораторных животных исследователю при проведении сравнительных экспериментов приходится ограничиваться каким-либо одним фиксированным значением дозовой нагрузки, вызывающей изменение контролируемого биологического показателя. Это не позволяет выявить общие закономерности в действии того или иного физического фактора и даже может привести к ложным заключениям. Кроме того, вследствие неоднородности особей, полученных от различных производителей, достоверность результатов зачастую недостаточна для обоснованного заключения. По этой причине, с учетом сложности проведения экспериментов на животных (требующих к тому же 3–5 повторностей на каждую экспериментальную точку), количественные исследования на организменном уровне при варьировании в широком диапазоне параметров воздействующих факторов в литературе практически отсутствуют. Неслучайно основные выводы о механизме биологического действия лазерного излучения сделаны в опытах с культивируемыми клетками или с клетками крови.

В этой связи ранее [131, 132, 335, 133, 130] нами было предложено использовать в качестве модели для исследования механизмов и закономерностей действия физических полей (лазерного излучения и магнитного поля) на организменном уровне эмбрионы (оплодотворенную икру) рыб. В данной работе представлены данные, свидетельствующие о перспективности использования в качестве модели для исследования первичных фотофизических процессов, определяющих действие факторов физической природы, спермы рыб. На наш взгляд, привлекательность использования эмбрионов и спермы обусловлена, с одной стороны, возможностью выбора большого количества однотипных особей (полученных от одних производителей), а с другой стороны, хорошей чувствительностью указанных объектов к действию физических полей, воспроизводимостью результатов и их высокой достоверностью.

Следует отметить, что, несмотря на многолетнюю историю изучения влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на биологические системы, интерес к механизму первичных фотофизических про-

цессов, определяющих биологическую активность указанного физического фактора, не ослабевает. Один из принципиальных моментов состоит в выяснении вопроса, являются ли наблюдаемые эффекты лазероспецифичными (то есть зависимыми от таких характеристик лазерного излучения, как когерентность, монохроматичность, поляризация) или присущи любому нелазерному источнику света.

Цель настоящей работы – исследование роли поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности в его взаимодействии со сперматозоидами рыб.

Количественные данные, свидетельствующие о различии фотобиологического эффекта индуцированных воздействием на сперматозоиды осетровых рыб при оптимальных условиях линейно-поляризованного и неполяризованного широкополосного излучения (P = 1,5 ± 0,2 мВт/см^2) белого светодиода λ = 420–800 нм ($\Delta\lambda$ = 130 нм), представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6. **Влияние линейно-поляризованного и неполяризованного излучения широкополосного светодиодного источника и линейно-поляризованного излучения полупроводникового лазера на время поступательного движения сперматозоидов бестера после активации водой**

Вариант воздействия	Время облучения	Время подвижности, с	Величина стимулирующего действия, %
1	2	3	4
контроль	0	120 ± 7,6	100
Линейно-поляризованное лазерное излучение (P = 1,5 ± 0,2 мВт/см^2, λ = 670 нм, $\Delta\lambda$ = 2 нм, $L_{ког}$ ~ 224 мкм)	30	260 ± 7,6	216,7 ± 6,4**
	60	230 ± 5,8	191,7 ± 4,8**
	90	200 ± 2,9	166,7 ± 2,4*
	180	184 ± 5,0	153,3 ± 4,2*
	300	170 ± 2,9	141,7 ± 2,4*
Линейно-поляризованное излучение светодиода (P = 1,5 ± 0,2 мВт/см^2, λ = 420 – 800 нм, $\Delta\lambda$ = 130 нм, $L_{ког}$ < 2,5 мкм)	30	225 ± 10,4	187,5 ± 15,0*
	60	200 ± 5,8	166,7 ± 8,3*
	90	190 ± 5,8	158,3 ± 8,3*
	180	150±11,5	125,0 ± 16,7
	300	145 ± 13,2	120,8 ± 19,1

Окончание табл. 5.6

1	2	3	4
Неполяризованное излучение светодиода (P = 1,5 ± 0,2 мВт/см^2, λ = 420 – 800 нм, Δλ = 130 нм, $L_{ког}$ < 2,5 мкм)	30	200 ± 15,3	166,7 ± 12,7*
	60	180 ± 11,5	150,0 ± 9,6
	90	170 ± 2,9	141,7 ± 2,4*
	180	140 ± 2,9	116,7 ± 2,4
	300	150 ± 2,9	125,0 ± 4,2

*Достоверность отличий от контроля P < 0,05; **достоверность отличий от контроля P < 0,01.

Из таблицы видно, что время подвижности сперматозоидов, подвергнутых кратковременному одноразовому воздействию линейно-поляризованного лазерного излучения, значительно превосходит контрольные значения.

Кроме монохроматического лазерного излучения, достоверные изменения (p < 0,05) качественных показателей спермы вызывает (при оптимальной экспозиции облучения) и широкополосное излучение светодиодного источника. Причем достоверные отличия от контроля наблюдаются при воздействии как поляризованным, так и неполяризованным светом. Однако величина стимулирующего действия для излучения с естественной поляризацией значительно ниже, чем в случае использования линейно-поляризованного излучения.

Характерно, что величина стимулирующего действия оптического излучения сильно зависит от длительности хранения спермы: при высоких качественных показателях клеток стимулирующий эффект незначителен; наиболее выраженные различия в подвижности облученных и необлученных клеток наблюдаются в образцах, подвергнутых длительному хранению.

Следует отметить, что величина стимулирующего действия зависит от времени облучения; при этом для всех типов воздействия оптического излучения максимальный эффект наблюдается при экспозиции t = 30 с.

Сравнение результатов исследований, выполненных с использованием излучения различной степени временной когерентности, показало, что максимальный биологический эффект наблюдается при воздействии поляризованного монохроматического лазерного излучения (λ = 670 нм, длина когерентности $L_{ког}$ ~ 224 мкм). Переход же к широкополосному линейно-поляризованному излучению (λ = 420–800 нм, $L_{ког}$ < 2,5 мкм) сопровождается снижением биологического действия.

Результаты, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о выраженной зависимости биологического действия оптического излучения от типа его поляризации и когерентности. При этом биологической активностью обладает как поляризованное монохроматическое лазерное излучение, так и поляризованный свет широкополосного светодиодного источника.

Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с данными, свидетельствующими о выраженном терапевтическом действии широкополосного линейно-поляризованного света [389, 410]. Для сравнения отметим, что, согласно [306], при одновременном дихромном облучении культуры клеток в условиях *in vitro* квазиминохроматическим неполяризованным красным светом (оказывающим в отдельности выраженное стимулирующее действие) и широкополосным неполяризованным видимым светом эффект стимуляции уменьшается или вообще исчезает.

Результаты, полученные в настоящей работе, а также наши предыдущие исследования [131, 132, 335, 130, 134, 333, 334] позволяют заключить, что фотобиологические эффекты, влияющие на подвижность сперматозоидов осетровых рыб, а также на постэмбриональное развитие осетровых рыб при облучении оплодотворенной икры (см. работы [134, 333, 334, 335]), могут быть интерпретированы с позиций нерезонансного нефотохимического механизма действия излучения [257, 354, 276]. Кроме зависимости эффекта от поляризации, в пользу данной концепции свидетельствует: а) влияние постоянного магнитного поля на эффекты, индуцированные линейно-поляризованным светом [132, 134]; б) зависимость эффекта от амплитудного значения интенсивности излучения (при использовании импульсного излучения наносекундной длительности средняя плотность мощности P = 0,06–0,24 мВт/см^2 ниже, по крайней мере, на порядок соответствующего значения для непрерывного излучения) [132, 334]; в) нарушение правила Бунзена-Роско о взаимозаменяемости времени и плотности мощности [131, 333]; г) влияние частоты модуляции на регистрируемый фотобиологический эффект [335, 130, 333].

Результаты, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о способности оптического излучения низкой интенсивности влиять на качественные показатели спермы осетровых рыб. Влияние на поступательную подвижность сперматозоидов (после их активации водой) способно оказывать как монохроматическое излучение полупроводникового лазера (λ = 670 нм, $\Delta\lambda$ = 2 нм, P = 1,5 мВт/см^2), так и широко-

полосный свет (λ = 420–800 нм, P = 1,5 мВт/см^2) светодиодного источника.

Достоверное биологическое действие оказывает как поляризованный, так и неполяризованный свет, однако более выраженный фотобиологический эффект при одинаковой энергетической нагрузке вызывает свет с линейной поляризацией.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о способности оптического излучения повышать качество половых продуктов, что может найти свое применение как в практике рыбоводства, так и в племенной работе с сельскохозяйственными животными.

Сперма рыб, а также сперма сельскохозяйственных животных может использоваться в качестве объекта для изучения механизмов биологической активности оптического излучения низкой интенсивности.

5.9. Влияние частоты модуляции оптического излучения на подвижность сперматозоидов осетровых рыб

Известен способ обработки спермы рыб для ее стимуляции, основанный на воздействии на сперму перед оплодотворением лазерным излучением красной и/или инфракрасной спектральной области. Время экспозиции выбирают не менее 10 с при энергетической дозе от 1 мДж/см^2 до 2,5 Дж/см^2 [128]. Как следует из описания [128], в аналоге в качестве источника излучения используется либо гелий-неоновый лазер красной области спектра с длиной волны λ = 632,8 нм, работающий в непрерывном режиме, либо импульсный лазер «Узор» инфракрасной области спектра с длиной волны λ = 890 нм. Недостатком известного способа является низкий стимулирующий эффект.

Известен также способ обработки спермы рыб и животных [253, 298], основанный на воздействии на сперматозоиды перед оплодотворением непрерывным оптическим излучением одного из источников: белым светом светодиодного источника в спектральном диапазоне 400 – 800 нм при плотности мощности 40 мВт/см^2 в течение 1–15 мин; красным светом светодиодного источника с длиной волны 660 нм при плотности мощности 10 мВт/см^2 в течение 1–15 мин; ультрафиолетовым излучением лампы с длиной волны 360 нм при плотности мощности 1,5 мВт/см^2 в течение 1–15 мин; ультрафиолетовым излучением лампы с длиной волны 294 нм при плотности мощности 0,1 мВт/см^2 в течение 10–75 с. Недостатками известного способа являются: ингибирование оплодотворяющей способности спермы при воздействии на

сперматозоиды ультрафиолетового излучения. Во всем диапазоне воздействующих доз с длиной волны 294 или 360 нм наблюдается снижение ее активности по сравнению с контрольными (интактными) образцами, не подвергающимися действию излучения; низкое стимулирующее действие на активность сперматозоидов непрерывного излучения видимой области спектра с длиной волны 660 нм (красный диапазон) или белого света в спектральном диапазоне 400–800 нм, а также необходимость длительного воздействия (5–10 мин) для получения оптимального стимулирующего эффекта, что снижает производительность процесса и увеличивает вероятность нарушения режима стерильности.

Цель работы – исследование влияния поляризованного оптического излучения с длиной волны 450–1270 нм, модулированного по интенсивности частотой 5–100 Гц, на сперматозоиды осетровых рыб.

В результате наших исследований установлено, что воздействие на сперму самцов осетровых рыб модулированным оптическим излучением приводило к повышению активности сперматозоидов, что выражалось в увеличении подвижности сперматозоидов после активации. Вышесказанное подтверждалось данными, представленными в табл. 5.7–5.8.

Таблица 5.7. **Влияние поляризованного оптического излучения с длиной волны 450 нм в различных энергетических дозах и режимах воздействия на параметры подвижности сперматозоидов самцов осетровых рыб (указаны максимальные величины стимулирующего действия для каждой плотности мощности)**

Группы	Время облучения t, с	Плотность мощности P, мВт/см^2	Энергетическая доза E, мДж/см^2	Величина стимулирующего действия γ, %	Статистический уровень значимости, P
1	2	3	4	5	6
Контроль	0	0	0	100	–
Непрерывное излучение	180	0,5	90	119,0 ± 2,2	P<0,05
	30	3,0	90	132,2 ± 7,6	P<0,05
	0,9	100	90	115,0 ± 1,2	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 5 Гц	240	0,5	120	107,0 ± 4,8	P<0,05
	40	3,0	120	118,9 ± 11,2	–
	1,2	100	120	103,5 ± 7,5	P<0,05

Окончание табл. 5.7

1	2	3	4	5	6
Излучение, модулированное с частотой F = 50 Гц	180	0,5	90	121,7 ± 1,2	P<0,05
	30	3,0	90	135,3 ± 1,3	P<0,05
	0,9	100	90	117,7 ± 4,5	-
Излучение, модулированное с частотой F = 60 Гц	180	0,5	90	119,8 ± 5,0	P<0,05
	30	3,0	90	133,1 ± 3,8	P<0,05
	0,9	100	90	115,8 ± 1,2	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 100 Гц	180	0,5	90	114,7 ± 4,2	P<0,05
	30	3,0	90	127,4 ± 14,3	P<0,05
	0,9	100	90	110,9 ± 1,9	–

Таблица 5.8. **Влияние поляризованного оптического излучения с длиной волны 670 нм в различных энергетических дозах и режимах воздействия на время активности сперматозоидов самцов осетровых рыб (указаны максимальные величины стимулирующего действия)**

Группы	Время облучения, t, с	Плотность мощности P, мВт/см^2	Энергетическая доза E, мДж/см^2	Величина стимулирующего действия γ, %	Статистический уровень значимости, P
1	2	3	4	5	6
Непрерывное излучение	40	3,0	120	216,7 ± 6,4	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 5 Гц	40	3,0	120	137,8 ± 9,6	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 50 Гц	40	3,0	120	225,5 ± 4,3	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 60 Гц	240	0,5	120	264,8 ± 2,4	P<0,05

Окончание табл. 5.8

1	2	3	4	5	6
Излучение, модулированное с частотой F = 100 Гц	40	3,0	120	204,8 ± 10,1	P<0,05

Из представленных данных следует, что воздействие непрерывного лазерного излучения в спектральном диапазоне от 450 до 1270 нм приводит к повышению качества половых продуктов, что проявляется в увеличении подвижности после их активации. Увеличение длины волны воздействующего излучения свыше 1270 нм являлось нецелесообразным в связи с тем, что в области ~ 1300 нм наблюдалось поглощение излучения водой, что могло приводить к термическому повреждению сперматозоидов. Использование излучения с длиной волны короче 450 нм является нецелесообразным, так как в этом случае стимулирующее действие слабо выражено и зачастую наблюдается ингибирование активности клеток спермы.

Выполненные исследования показали, что фотобиологическое действие на сперматозоиды зависит как от длины волны воздействующего излучения, так и от его плотности мощности, энергетической дозы и частоты модуляции.

Максимальное стимулирующее действие света на сперму рыб регистрировалось при плотности мощности P = 0,5–100 мВт/см^2 и энергетической дозе 60–180 мДж/см^2. Снижение плотности мощности ниже 0,5 мВт/см^2 является нецелесообразным, так как в этом случае наблюдалось снижение стимулирующего эффекта, а, кроме того, для набора энергетической дозы 60–180 мДж/см^2 длительность воздействия могла превышать t = 600 с (10 мин), что снижало производительность процесса и увеличивало вероятность нарушения режима стерильности. Повышение плотности мощности свыше 100 мВт/см^2 также являлось нецелесообразным, так как в этом случае можно вызвать термическое повреждение сперматозоидов, что приводило к эффекту ингибирования их активности. Установлено, что применение режима модуляции излучения в зависимости от ее частоты способно как повысить стимулирующий эффект, характерный для непрерывного излучения, так и снизить его.

Как следует из табл. 5.9, при воздействии излучения, модулированного низкой частотой (F = 5 Гц), стимулирующий эффект ниже, чем

при непрерывном воздействии. При увеличении частоты модуляции происходило увеличение величины стимулирующего эффекта, который достигал своего максимума при F = 50–60 Гц. При дальнейшем увеличении частоты модуляции до F = 100 Гц эффект стимуляции светового воздействия мало отличался от такового при использовании непрерывного (немодулированного) излучения. Поэтому повышение или снижение частоты модуляции света за пределы F = 50–60 Гц являлось нецелесообразным.

Установлено, что сперма, подвергнутая действию лазерного излучения при оптимальных параметрах (длина волны излучения в спектральном диапазон от 450 до 1270 нм, плотность мощности P = 0,5–100 мВт/см^2, энергетическая доза E = 60–180 мДж/см^2), обладала более высокой способностью к оплодотворению икры. Увеличение (по сравнению с контролем) времени подвижности сперматозоидов в результате воздействия оптического излучения характеризует улучшение качества спермы, поскольку это приводит к более высокой вероятности успешного оплодотворения икры. И наоборот, снижение (по сравнению с контролем) времени подвижности сперматозоидов в результате воздействия оптического излучения отражает снижение качества спермы. Так, если в случае использования интактной (контрольный вариант) спермы процент оплодотворения икры осетровых рыб составлял 72 %, то в случае использования спермы, обработанной заявляемым способом, процент оплодотворения икры достигал 90 %.

Таблица 5.9. **Влияние поляризованного оптического излучения с длиной волны 1270 нм в различных энергетических дозах и режимах воздействия на время активности сперматозоидов самцов осетровых рыб (указаны максимальные величины стимулирующего действия)**

Группы	Время облучения t, с	Плотность мощности P, мВт/см^2	Энергетическая доза E, мДж/см^2	Величина стимулирующего действия γ, %	Статистический уровень значимости, P
1	2	3	4	5	6
Непрерывное излучение	30	3,0	90	199,5 ± 13,2	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 5 Гц	30	3,0	90	140,5 ± 13,2	P<0,05

1	2	3	4	5	6
Излучение, модулированное с частотой F = 50 Гц	30	3,0	90	210,5 ± 11,2	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 60 Гц	0,9	100	90	269,1 ± 1,6	P<0,05
Излучение, модулированное с частотой F = 100 Гц	30	3,0	90	200,7 ± 14,9	P<0,05

5.10. Влияние частоты повторения и длительности импульсов оптического излучения на сперматозоиды осетровых рыб

В настоящее время возрастает интерес к использованию новых источников оптического излучения с различными режимами частоты повторения импульсов и длительности импульсов [334; 337; 338]. Наши результаты установили, что частота повторения импульсов и длительность импульсов оказывают эффект на скорость и процент подвижности сперматозоидов осетровых рыб.

При воздействии на сперматозоиды оптическим излучением с генерацией наносекундных импульсов (длительность импульса τ = 15 нс, частота повторения импульсов F = 10 Гц, лучшее время воздействия t = 30 с) средний процент подвижности сперматозоидов (91 ± 3 %, Mann-Whitney U-тест, p > 0,05) и средняя криволинейная сокрость (122 ± 6 μm / с (±95 % CI), Tukey HSD тест, p > 0,05) были выше, чем в контрольной группе (80 ± 3 % и 100 ± 10 μm / с соответственно), но ниже по сравнению с непрерывным оптическим излучением (F = 0 Hz, τ = 0 ns, лучшее время воздействия t = 45 с) – 92 ± 2 % (Mann-Whitney U-тест, p < 0,05) и 140 ± 6 μm / с (mean ± 95 % CI, Tukey HSD тест, p < 0,05) соответственно (рис. 5.145–5.147).

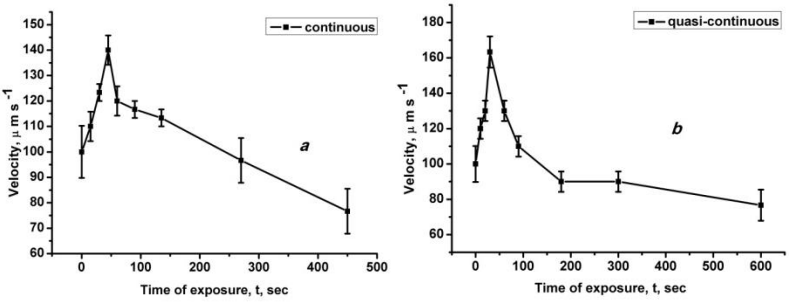
При использовании импульсного оптического излучения с пикосекундными временными интервалами (τ = 60 пс, F = 20 Гц, лучшее время воздействия t = 20 с) стимулирующий эффект на средний про-

цент подвижности сперматозоидов (86 ± 2 %, Mann-Whitney U-тест, p < 0,05) и среднюю криволинейную сокрость сперматозоидов (115 ± 2 μm / c, Tukey HSD тест, p < 0,05) был ниже, чем использование наносекундных временных диапазонов, но выше, чем в контрольной группе.

При увеличении частоты повторения импульсов и длительности импульса с использованием квазинепрерывных временных интервалов (рис. 5.145) уровень стимулирующего эффекта увеличивается и достигает максимума при F = 1 кГц, τ = 100 нс (лучшее время воздействия t = 30 с): медиана процента подвижности сперматозоидов – 94 ± 2% (Mann-Whitney U-тест, p < 0,05) и медиана криволинейной скорости – 163 ± 2 μm / c, Tukey HSD тест (p < 0,05).

Для изучения влияния лучшего режима воздействия оптическим излучением на процент оплодотворения икры мы использовали квазинепрерывный режим воздействия (частота повторения импульсов – F = 1 кГц, длительность импульса – τ = 100 нс). В результате мы получили следующие значения процента оплодотворения икры: в опытной группе – 91 ± 2 % (U-тест Mann-Whitney, P < 0,05), в контрольной группе – 79 ± 3 %.

Таким образом, нами было установлено, что частота повторения и длительность импульсов оптического излучения низкой интенсивности способны оказывать эффект на сперматозоиды осетровых рыб.



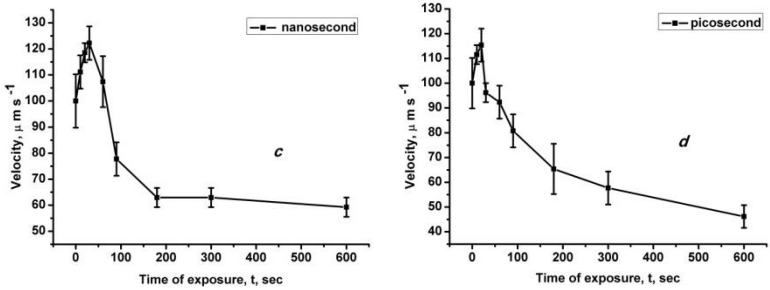


Рис. 5.145. Эффект непрерывного (*a*), квазинепрерывного (*b*) (частота повторения импульсов – F = 1 кГц, длительность импульса – τ = 100 нс) и импульсных режимов с генерацией наносекундных (*c*) (τ = 15 нс, F = 10 Гц) и пикосекундных (*d*) (τ = 60 пс, F = 20 Гц) импульсов Nd: YAG-лазера (длина волны – 532 нм, средняя выходная мощность ~ 30 мВт) с различным временем экспозиции на криволинейную скорость сперматозоидов сибирского осетра

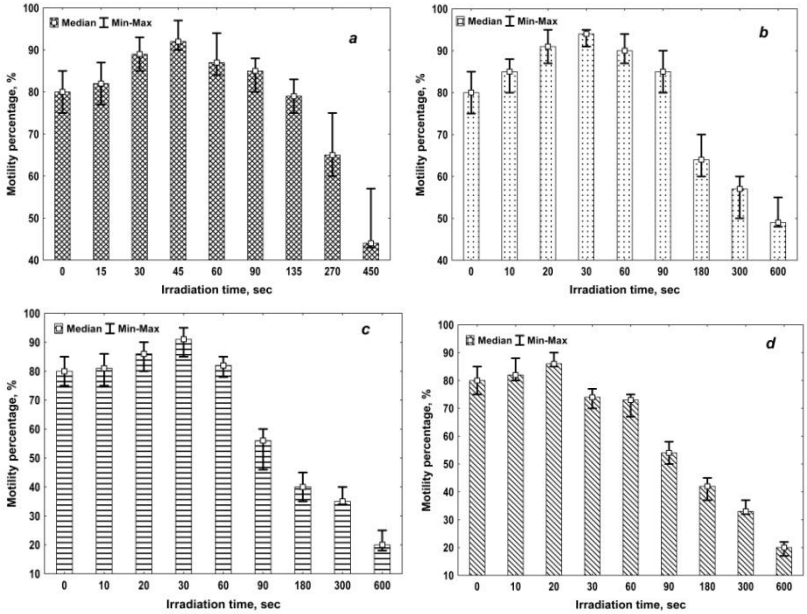


Рис. 5.146. Эффект непрерывного (*a*), квазинепрерывного (*b*) (частота повторения импульсов – F = 1 кГц, длительность импульса – τ = 100 нс) и импульсных режимов с генерацией наносекундных (*c*) (τ = 15 нс, F = 10 Гц) и пикосекундных (*d*) (τ = 60 пс, F = 20 Гц) импульсов Nd: YAG-лазера (длина волны – 532 нм, средняя выходная мощность ~ 30 мВт) с различным временем экспозиции на процент подвижности сперматозоидов сибирского осетра

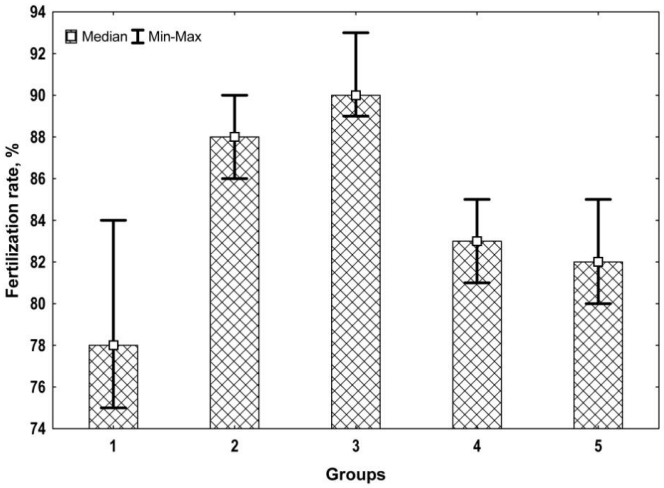


Рис. 5.147. Эффект непрерывного (*a*), квазинепрерывного (*b*) (частота повторения импульсов – F = 1 кГц, длительность импульса – τ = 100 нс) и импульсных режимов с генерацией наносекундных (*c*) (τ = 15 нс, F = 10 Гц) и пикосекундных (*d*) (τ = 60 пс, F = 20 Гц) импульсов Nd: YAG-лазера (длина волны – 532 нм, средняя выходная мощность ~ 30 мВт) с различным временем экспозиции на процент оплодотворения икры сибирского осетра

5.11. Первый опыт повторного получения икры от *Acipenser gueldenstaedti* в Беларуси

Из проходных осетровых в реки Беларуси ранее единичными экземплярами заходили *Huso huso*, *Acipenser gueldenstaedti*, а также *A. sturio* [52].

В историческом аспекте аборигенным видам является *A. ruthenus*, однако последний раз в данных промысловой статистики вылов этого вида фиксировался в 1956 г. и составлял всего 0,14 ц. [52], а с 1981 г. – стерлядь – объект «Красной книги» как вид, находящийся под угрозой вымирания [51, 52, 53].

В годы СССР осетроводство в Беларуси развивалось только экспериментально, а в период начала 90-х годов XX ст., когда стоял вопрос о выживании всей рыбной отрасли (объем производства товарной рыбы снизился с 18,5 тыс. тонн (1989 г.) до 3,9 тыс. тонн) перспектива развития осетроводства даже не рассматривалась.

Пионерами в товарном осетроводстве Беларуси с 2001 г. являются негосударственные предприятия с различной формой собственности, имеющие бассейновые цеха, входящие в систему УЗВ. Затем первые опыты по товарному выращиванию осетровых рыб в прудовых хозяйствах начали проводить и государственные рыбхозы [102].

В первый период своей работы все хозяйства работали с импортным рыбопосадочным материалом из России.

С 2004 года появились первые сообщения об успешном получении потомства в условиях прудовых и индустриальных хозяйств Беларуси от стерляди [104], бестера и сибирского осетра [103], русского осетра [13]. Следует отметить, что данный успех белорусского осетроводства также стал возможен благодаря получившему широкое распространение и признание способу прижизненного получения икры от самок осетровых рыб [139] и руководству по разведению и выращиванию осетровых рыб [189].

Повторно созревающая 12-летняя самка *A. gueldenstaedti* нерестилась первый раз в апреле 2007 г. Период от двух нерестов составил 11 163 градусо-дней. Полученную икру как в 2009 г., так и в 2007 г. оплодотворяли смесью спермы от 5–6-летних самцов *A. baeri*. В 2009 г. в качестве стимулирующего препарата применялся Нерестин 5-А, при этом инъецирование проводили в 2 этапа: 30 % от общей дозы в вечерние часы и остальные 70 % через 12 часов в утренние часы.

Показатели красной крови самки в преднерестовый период представлены в табл. 5 10.

Таблица 5.10. **Результаты гематологических исследований крови повторно созревающей самки *A. gueldenstaedti***

Показатели	Значения
Гемоглобин, г/л	97,5 ± 2,8
Эритроциты $\times 10^{12}$	1,6 ± 0,25
Гематокрит, %	29,0 ± 2,1

Как видно из табл. 5.10, высокие значения красной крови (гемоглобин, эритроциты, гематокритная величина) свидетельствовали об удовлетворительном физиологическом состоянии самки и функциональной готовности к нересту.

Значения основных показателей нереста самки в 2007 и 2009 гг. представлены в табл. 5.11.

Таблица 5.11. **Сравнительная рыбоводно-репродуктивная характеристика самки в двух нерестовых компаниях**

Показатели	Показатели нереста	
	2007 г.	2009 г.
Длина, см	120	125
Масса, кг	21	25
Коэффициент поляризации (осень)	19,8	23,0
Коэффициент поляризации (перед нерестом)	7,7	9,8
Период нереста	1-я декада апреля	1-я декада июня
Рабочая плодовитость, тыс. шт.	161,2	300,9
Количество икринок в 1 г.	62	59
Выход икры, % от массы тела	12,4	20,4
Оплодотворяемость, %	97,5	98
Выклев, %	72	80
Выживаемость при переходе на активное питание	65	77

Как видно из табл. 5.11, за два года самка «нагуляла» 4 кг, а также «выросла» на 5 см. Обращает на себя внимание, что получаемые половые продукты от повторно созревшей самки закономерно обладали значительно лучшим рыбоводным качеством: рабочая плодовитость по сравнению с первым нерестом увеличилась на 86,7 %, при этом значительно увеличился выход икры в % от массы тела. Оплодотворяемость в двух нерестовых компаниях была высокой, однако значения развития икры и предличинок указывали на более высокое качество получаемого потомства от самки при повторном нересте. Следует отметить и относительно поздний период получения половых продуктов в 2009 г. (1-я декада июня). В дальнейшем самка успешно прошла период реабилитации и перешла на интенсивное специализированное кормление.

Таким образом, первый опыт повторного получения икры от самки *A. gueldenstaedti* оказался успешным, что дает перспективу на развитие промышленного икорного осетроводства в Республике Беларусь.

5.12. Идентификация пола осетровых рыб по костным пластинкам (жучкам)

Осетровая икра – это известный и дорогой деликатес во всем мире [230]. Цена икры может достигать 300 долларов США и более за одну унцию, потому что большинство осетровых находятся на грани полного вымирания и исчезновения и период первого полового

созревания может доходить до 10–20 лет [418]. Икра – это очень полезный продукт питания для человека, особенно для детей и беременных женщин. Мы уверены, что цена икры должна быть ниже.

Раннее определение пола для выбраковки самцов – это один из путей снижения себестоимости икры. Однако, как ранее считалось, осетровые не имеют надежных внешних половых признаков [316].

Для определения пола допускается использовать гормональные [325, 405], биохимические [217], спектроскопические, гистологические [284] методы, а также биопсию [420], лапороскопию [420], эндоскопию [241]. Эти методы имеют сложности с массовым применением и могут иметь высокую ошибку (первые три метода) или могут травмировать рыбу (последние четыре метода). Более того, полоспецифический ген для определения пола осетровых до сих пор не найден, в отличие от большинства видов рыб [360], однако исследования в этой области продолжаются [297, 329]. В настоящее время ультразвуковая диагностика – это самый успешный метод раннего определение пола осетровых [245]. С помощью этого метода возможно определить пол в 2 года у стерляди, в 2–3 года у сибирского и русского осетров, 3–4 года у белого осетра и в 4–5 лет у белуги [316]. Однако ультразвуковая диагностика нуждается в дорогом оборудовании и высокой квалификации рыбоводов.

Мы утверждаем, что осетровые рыбы имеют внешние морфологические отличия в зависимости от пола, что ранее отрицалось и считалось невозможным. Мы впервые обнаружили, что осетровые костные пластинки (жучки) имеют разную форму в зависимости от пола. Эта зависимость сохраняется у осетровых всех возрастов – от личинки (3 месяца) до взрослой рыбы (2 года и более). Поэтому определение пола возможно делать в ранние периоды жизни осетровых без использования дорого оборудования.

Костные пластинки осетровых изучали ранее и другие исследователи в области морфологического строения [248, 411], экологического влияния [212] и видовой идентификации [324], однако без учета пола.

Мы исследовали потомков стерляди из популяции реки Волга и потомков сибирского осетра из популяции реки Лена в возрасте 3 месяцев, 1 года и 2 года, которых содержали в аквакультуре. Мы измеряли различные морфологические и относительные параметры (коэффициенты), которые описывали форму костных пластинок (рис. 5.148–5.157).

Средняя длина жучек самцов стерляди уменьшается с 15,28 ± 0,51 мм до 13,54 ± 0,38 мм, у самок стерляди – с 17,15 ± 0,70 мм до 14,20 ± 0,45 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 3,35 до 12,2 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина жучек самцов стерляди уменьшается с 22,29 ± 0,44 мм до 15,64 ± 0,53 мм, у самок стерляди – с 22,48 ± 0,65 мм до 16,62 ± 0,56 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от от 0,8 до 6,3 % ($p > 0,05$).

Средний коэффициент Ш/Д жучек самцов стерляди уменьшается с 1,55 ± 0,08 до 1,17 ± 0,05, у самок стерляди – от 1,41 ± 0,04 до 1,16 ± 0,05, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,80 до 11,50 % ($p < 0,05$).

Средняя длина лопасти жучек самцов уменьшается с 10,49 ± 0,48 мм до 8,40 ± 0,36 мм, у самок – от 12,92 ± 0,61 мм до 9,50 ± 0,33 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 9,0 до 25,8 % ($p < 0,05$).

Средний усредненный коэффициент Дл/Д жучек самцов стерляди уменьшается с 0,71 ± 0,02 до 0,62 ± 0,02, у самок стерляди – от 0,77 ± 0,01 до 0,67 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 3,9 до 15,7 % ($p < 0,05$).

Средняя площадь жучек самцов стерляди уменьшается с 211,76 ± 11,10 мм^2 до 124,23 ± 5,93 мм^2, у самок стерляди – с 256,82 ± 16,15 мм^2 до 141,06 ± 6,95 мм^2, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 8,8 до 21,3 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент заполнения жучек самцов стерляди уменьшается с 0,49 ± 0,01 до 0,57 ± 0,02, у самок стерляди – с 0,57 ± 0,02 до 0,61 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 4,7 до 19,8 % ($p < 0,05$).

Среднее количество зубцов жучек самцов стерляди уменьшается с 11,55 ± 0,87 шт. до 7,50 ± 0,55 шт., у самок стерляди – с 7,64 ± 0,96 шт. до 5,00 ± 0,50 шт., величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 33,9 до 77,6 % ($p < 0,05$).

Средняя длина зубца жучек самцов стерляди варьирует от 1,77 ± 0,12 мм до 2,81 ± 0,21 мм, у самок стерляди – от 1,24 ± 0,12 мм до 1,93 ± 0,22 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 12,7 до 68,8 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина зубца жучек самцов стерляди варьирует от 2,03 ± 0,11 мм до 2,86 ± 0,17 мм, у самок стерляди – от 2,50 ± 0,22 мм

до 3,40 ± 0,18 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 13,0 до 51,8 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Ш жучек самцов стерляди увеличивается от 0,08 ± 0,01 до 0,18 ± 0,01, у самок стерляди – от 0,05 ± 0,01 до 0,11 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,5 до 66,2 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Шз жучек самцов стерляди варьирует от 0,89 ± 0,06 до 1,06 ± 0,09, у самок стерляди – от 0,46 ± 0,05 до 0,65 ± 0,09, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок стерляди варьировала от 43,0 до 105,4 % ($p < 0,05$) ($p < 0,05$).

Средняя длина жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 8,44 ± 0,19 мм до 6,99 ± 0,22 мм, у самок молоди стерляди – с 8,72 ± 0,36 мм до 7,24 ± 0,29 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 1,4 до 18,8 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 10,60 ± 0,49мм до 6,97 ± 0,66 мм, у самок молоди стерляди – с 22,48 ± 0,65 мм до 16,62 ± 0,56 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от от 0,8 до 6,3 % ($p > 0,05$).

Средний коэффициент Ш/Д жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 1,48 ± 0,02 до 0,83 ± 0,05, у самок молоди стерляди – от 1,23 ± 0,04 до 0,97 ± 0,04, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 1,08 до 22,39 % ($p < 0,05$).

Средняя длина лопасти жучек самцов уменьшается с 5,76 ± 0,55 мм до 4,41 ± 0,23 мм, у самок – от 6,67 ± 0,18 мм до 5,32 ± 0,21 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 7,7 до 35,4 % ($p < 0,05$).

Средний усредненный коэффициент Дл/Д жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 0,69 ± 0,04 до 0,53 ± 0,03, у самок молоди стерляди – от 0,80 ± 0,01 до 0,66 ± 0,02, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 4,3 до 33,2 % ($p < 0,05$).

Средняя площадь жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 49,15 ± 4,67 мм^2 до 31,84 ± 3,22 мм^2, у самок молоди стерляди – от 58,65 ± 2,30 мм^2 до 38,22 ± 2,80мм^2, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,6 до 50,7 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент заполнения жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 0,53 ± 0,03 до 0,42 ± 0,01, у самок молоди стерляди – с 0,63 ± 0,01 до 0,55 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 5,0 до 35,4 % ($p < 0,05$).

Среднее количество зубцов жучек самцов молоди стерляди уменьшается с 9,60 ± 0,54 шт. до 7,40 ± 0,60 шт., у самок молоди стерляди – с 4,80 ± 0,65 шт. до 2,80 ± 0,44 шт., величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 66,7 до 200,0 % ($p < 0,05$).

Средняя длина зубца жучек самцов молоди стерляди варьирует от 1,66 ± 0,08 мм до 1,15 ± 0,10 мм, у самок молоди стерляди – от 0,91 ± 0,08 мм до 0,74 ± 0,08 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 27,3 до 124,7 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина зубца жучек самцов молоди стерляди варьирует от 21,45 ± 0,09 мм до 0,98 ± 0,08 мм, у самок молоди стерляди – от 1,77 ± 0,14 мм до 1,41 ± 0,13 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 12,2 до 54,0 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Ш жучек самцов молоди стерляди увеличивается от 0,14 ± 0,01 до 0,20 ± 0,01, у самок молоди стерляди – от 0,08 ± 0,01 до 0,12 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 33,1 до 129,7 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Шз жучек самцов молоди стерляди варьирует от 0,95 ± 0,04 до 1,75 ± 0,11, у самок молоди стерляди – от 0,49 ± 0,05 до 0,69 ± 0,13, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок молоди стерляди варьировала от 67,6 до 192,5 % ($p < 0,05$) ($p < 0,05$).

Средняя длина жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 1,29 ± 0,07мм до 0,99 ± 0,04 мм, у самок личинок стерляди – с 1,32 ± 0,05 мм до 0,91 ± 0,06 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 2,4 до 25,3 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 1,81 ± 0,06 мм до 1,39 ± 0,08 мм, у самок личинок стерляди – с 1,48 ± 0,06 мм до 1,32 ± 0,06 мм, величина различий между жучками № 1 – 10 самцов и самок варьировала от 5,7 до 23,4 %.

Средний коэффициент Ш/Д жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 1,68 ± 0,05 до 1,22 ± 0,03, у самок личинок стерляди – от 1,49 ± 0,08 до 1,13 ± 0,04, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,3 до 29,5 % ($p < 0,05$).

Средняя длина лопасти жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 0,84 ± 0,02 мм до 0,62 ± 0,01 мм, у самок личинок стерляди – с 0,91 ± 0,03 мм до 0,66 ± 0,04 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,67 до 28,65 % ($p < 0,05$).

Средний усредненный коэффициент Дл/Д жучек самцов личинок стерляди варьирует от 0,74 ± 0,03 до 0,57 ± 0,02, у самок личинок стер-

ляди – от 0,72 ± 0,01 до 0,64 ± 0,02, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 1,8 до 21,0 % ($p < 0,05$).

Средняя площадь жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 1,32 ± 0,07 мм^2 до 0,96 ± 0,03 мм^2, у самок личинок стерляди – от 1,38 ± 0,09 мм^2 до 0,86 ± 0,09 мм^2, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 7,2 до 32,2 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент заполнения жучек самцов личинок стерляди варьирует от 0,67 ± 0,03 до 0,43 ± 0,01, у самок личинок стерляди – от 0,64 ± 0,01 до 0,58 ± 0,02, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 0,3 до 35,1 % ($p < 0,05$).

Среднее количество зубцов жучек самцов личинок стерляди уменьшается с 8,90 ± 0,35 шт. до 5,80 ± 0,36 шт, у самок личинок стерляди – с 4,60 ± 0,31 шт. до 3,10 ± 0,35 шт., величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 39,1 до 151,5 % ($p < 0,05$).

Средняя длина зубца жучек самцов личинок стерляди варьирует от 0,18 ± 0,01 мм до 0,11 ± 0,01 мм, у самок личинок стерляди – от 0,12 ± 0,01 мм до 0,08 ± 0,01 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 20,9 до 75,4 % ($p < 0,05$).

Средняя ширина зубца жучек самцов личинок стерляди варьирует от 0,14 ± 0,01 мм до 0,11 ± 0,01 мм, у самок личинок стерляди – от 0,21 ± 0,02 мм до 0,15 ± 0,01 мм, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 20,9 до 83,3 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Ш жучек самцов личинок стерляди увеличивается от 0,06 ± 0,01 до 0,11 ± 0,01, у самок личинок стерляди – от 0,06 ± 0,01 до 0,09 ± 0,01, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок варьировала от 2,1 до 50,8 % ($p < 0,05$).

Средний коэффициент Дз/Шз жучек самцов личинок стерляди варьирует от 1,64 ± 0,21 до 0,99± 0,05, у самок личинок стерляди – от 0,72 ± 0,05 до 0,55 ± 0,03, величина различий между жучками № 1–10 самцов и самок личинок стерляди варьировала от 78,4 до 140,0 % ($p < 0,05$).

Нами были обнаружены корреляционные связи между морфологическими параметрами и коэффициентами у взрослой стерляди, а также у молоди и личинок (рис. 5.158–5.161). Сильная корреляционная связь была найдена (от ±0,7 до ±1) между площадью жучки и длиной жучки, между длиной лопасти жучки и длиной жучки взрослых самцов и самок стерляди.

Также были обнаружены корреляционные связи между морфологическими параметрами и индексами у молоди стерляди. Сильная корреляционная связь была найдена между площадью жучки и длиной жучки, между площадью жучки и длиной лопасти, между длиной лопасти жучки и длиной жучки, между длиной и шириной жучки самцов молоди стерляди. Сильная корреляционная связь была найдена между площадью жучки и длиной жучки самок молоди стерляди

Мы нашли корреляционные связи между морфологическими параметрами и индексами у личинок стерляди. Сильная корреляционная связь была найдена между площадью жучки и шириной жучки, между площадью жучки и длиной жучки самцов личинок стерляди. Сильная корреляционная связь была найдена между площадью жучки и шириной жучки, между лопастью жучки и шириной жучки, между длиной и шириной жучки, между длиной лопасти и площадью жучки, между длиной лопасти и длиной жучки, между длиной жучки и площадью жучки самок личинок стерляди.

Нами были выявлены зависимости в морфологических параметрах и коэффициентах между первыми пятью жучками самцов и самок взрослой стерляди, а также у молоди и личинок (рис. 5.162–5.191). Увеличение значений площади жучки, ширины зубца жучки, длины лопасти, коэффициента заполнения, коэффициента Дл/Д и уменьшение значений длины зубца жучки, коэффициента Ш/Д, количества зубцов, коэффициента Дз/Ш, коэффициента Дз/Шз повышало вероятность идентификации самок.

Нами были выявлены зависимости в морфологических параметрах и коэффициентах между первыми пятью жучками самцов и самок молоди стерляди. Увеличение значений площади жучки, ширины зубца жучки, длины лопасти, длины жучки, коэффициента заполнения, коэффициента Дл/Д и уменьшение значений длины зубца жучки, коэффициента Ш/Д, количества зубцов, коэффициента Дз/Ш, коэффициента Дз/Шз повышало вероятность идентификации самок.

Нами были выявлены зависимости в морфологических параметрах и коэффициентах между первыми пятью жучками самцов и самок личинок стерляди. Увеличение значений длины лопасти жучки, площади жучки, ширины зубца жучки, длины жучки, коэффициента заполнения, коэффициента Дл/Д и уменьшение значений длины зубца жучки, ширины жучки, коэффициента Ш/Д, количества зубцов, коэффициента Дз/Ш, коэффициента Дз/Шз повышало вероятность идентификации самок.

Таким образом, различия между морфологическими параметрами и коэффициентами самцов и самок жучек стерляди доходили до 105,4 % для взрослых, 200,0 % для молоди и 151,5 % для личинок. Значительные статистические различия сохранились у взрослых (2 года, длина – 61,2 ± 2,3 см), а также у молоди (1 год, 24,8 ± 1,5 см) и личинок (3 месяца, 70,3 ± 3,6 мм) – будущих половозрелых самцов и самок.

Найденные различия позволяют нам утверждать, что пол стерляди можно определить в возрасте 1 года при длине 25 см и в 2–3 месяца при длине 7 см. При этом возраст рыбы – это относительный показатель, так как темп роста рыбы зависит от температуры воды. Например, молодь стерляди может достигнуть 25 см в 6 месяцев и ранее в установках замкнутого водоснабжения.

Мы обнаружили статистически достоверное уменьшение морфологических параметров у взрослой стерляди в зависимости от удаления от головы (в зависимости от номера костной пластинки). Морфологические коэффициенты увеличивались в зависимости от номера костной пластинки или не изменялись.

Мы обнаружили, что количественное изменение отобранных морфологических параметров и коэффициентов жучек влияет на визуальное восприятие формы жучки в зависимости от пола.

Мы сформировали две группы показателей, которые характеризовали визуальное восприятие формы жучек: 1) группа морфологических параметров, характеризующих форму спинных жучек: коэффициент Ш/Д, усредненный коэффициент Дл (длина лопасти)/Д, коэффициент заполнения; 2) группа морфологических параметров, характеризующих зубцы спинных жучек: коэффициент Дз/Ш, коэффициент Дз/Шз, количество зубцов.

Далее мы отобрали наиболее значимые морфологические параметры и коэффициенты для идентификации пола при использовании нейронных сетей, метода Random Forrest и алгоритма Boruta. Отобранные параметры были протестированы на наличие мультикорреляционности, а затем были составлены ординационные диаграммы, которые помогли установить линейную отделимость отобранных классов морфологических параметров и коэффициентов (рис. 5.194–5.196). Мы составили модель, позволяющую достоверно определять пол стерляди по жучкам у личинок и молоди на основании отобранных параметров при использовании метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения (рис. 5.197–5.199).

Мы анализировали частоту встречаемости различных форм жучек при помощи критерия χ^2 и обнаружили достоверные различия между самцами и самками у взрослой стерляди. Достоверные различия были обнаружены в среднем с первой по пятую спинную жучку (рис. 5.200–5.212). Аналогичные различия были обнаружены у молоди стерляди, а также у личинок, но только при изучении очищенных жучек у мертвых личинок. Прижизненно жучки личинок будущих самцов достоверно отличались от жучек личинок будущих самок по наличию мелких и острых зубцов на поверхности (рис. 5.213).

Таким образом, жучки самцов имели более широкую и сплющенную (овальную) форму; условные линии, проведенные через крайние точки жучки, образовывали равнобедренный треугольник; лопасти отделялись от жучки при менее остром угле; зубцы жучки были более заострены и удлинены относительно ширины жучки; количество зубцов жучки было больше, чем у самок; поверхность жучки самцов также имела множество острых мелких зубцов. Жучки самок имели более округленную форму, условные линии, проведенные через крайние точки жучки, образовывали равносторонний треугольник, лопасти отделялись от жучки при более тупом угле, зубцы жучки были более закругленные и мало удлинены относительно ширины жучки, поверхность жучки была более гладкая, чем у самцов.

Мы обнаружили, что расстояние между спинными жучками у взрослой стерляди зависит от пола. Такая закономерность проявлялась только у взрослых особей (возраст 2 года). Первые пять спинных жучек самок находились на большем расстоянии между собой, чем у самцов, т. е. первые пять спинных жучек самцов визуально выглядели более узко посаженными. Критерием наличия узкопосаженности являлось среднее расстояние между первыми пятью спинными жучками, которое должно быть меньше ½ средней длины лопасти соответствующих жучек. Такая узкопосаженность встречается у 62 % самцов и 18 % самок (значение $\chi^2 – 20{,}17$, $p = 0{,}00001$).

На основании полученных результатов мы разработали метод определения пола стерляди, 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 Boruta), а также на основании анализа качествен-

ных параметров при помощи критерия χ^2. Критерием перехода из 1 в 0 в бинарной матрице являлись полученные результаты при использовании метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения.

В результате нами была получена модель, позволяющая с высокой вероятностью осуществлять определение пола у личинок, молоди и взрослой стерляди (рис. 5.214–5.216).

Мы разработали систему определения пола для взрослой стерляди, молоди и личинок (табл. 5.12) для простого использования в практике аквакультуры.

Таблица 5.12. **Система определения пола стерляди**

Название критерия	Вариант критерия	Количество баллов за соответствие критерию
Визуальная форма спинной жучки	Спинная жучка сплющенная, овальная	1
	Спинная жучка вытянутая, округленная	0
Визуальная заостренность зубцов	Зубцы острые и удлиненные	1
	Зубцы короткие, закругленные или не идентифицируются	0
Расстояние между спинными жучками	Наличие узкопосаженности	1
	Отсутствие узкопосаженности	0

В результате апробации системы определения пола, которая включала 3 критерия, среднее количество баллов у самцов составило $5,6 \pm 0,1$ (min = 5, max = 10), среднее количество баллов у самок составило $1,3 \pm 0,2$ (min = 0, max = 4). Наблюдаемые различия были статистически достоверными ($p < 0,05$).

Мы разработали протокол по определению пола у личинок, молоди и взрослой стерляди на основании полученных результатов.

В наших исследованиях мы изучали только спинные жучки стерляди. Исследование других рядов жучек стерляди нуждается в дополнительных исследованиях. Предварительные результаты показывают, что боковые и брюшные жучки стерляди также имеют различия в строении в зависимости от пола.

Мы впервые установили, что различия в строении жучек имеются и у других представителей осетрообразных. Нами были исследованы спинные, боковые и брюшные жучки сибирского осетра. Мы не обнаружили различия в строении спинных жучек. Однако мы обнаружили

достоверные различия в строении боковых и брюшных жучек сибирского осетра. При этом такие закономерности проявлялись также у молоди и личинок.

Мы получили модель, позволяющую с высокой вероятностью осуществлять определение пола у личинок, молоди и взрослого сибирского осетра, используя методы нейронных сетей, Random Forrest и алгоритма Boruta, критерия χ^2, binary discriminant analysis с использованием алгоритма binDA, бинарного дерева решений с использованием алгоритма ID3 (Interactive Dichotomizer).

Таким образом, мы впервые обнаружили, что осетровые костные пластинки (жучки) имеют разную форму в зависимости от пола. Такая закономерность сохраняется у осетровых рыб разного возраста и вида. На основании вышеизложенного мы можем утверждать, что осетровые рыбы имеют внешние морфологические отличия в зависимости от пола, что ранее отрицалось и считалось невозможным.

Различия формы жучки зависят от пола и определяются с очень раннего возраста (с 3–4 месяцев). Обнаруженные нами закономерности в форме жучки могут увеличить экономическую эффективность икорных осетровых ферм, так как возможно идентифицировать самцов в более раннем возрасте, для того чтобы их выбраковывать и не расходовать дорогие корма и электроэнергию для их содержания. Кроме того, раннее определение пола открывает множество перспективных направлений для разработки специализированных технологий выращивания осетровых в зависимости от пола, по примеру существующих технологий в животноводстве. Раннее определение пола позволит осуществлять зарыбление молодью осетровых рек с соблюдением правильного полового соотношения. Это будет способствовать более эффективной работе по восстановлению диких природных популяций осетровых.

Наши исследования были ограничены изучениями только двух видов осетровых рыб. Открытым остается вопрос о закономерностях в строении жучек у других видов осетровых. Например, как показали исследования Вюртца с соавторами [324], между личинками европейского и атлантического осетров имеются различия в строении жучек, которые, как показали исследования Тиерена с соавторами [395], сохраняются у половозрелых особей. Как известно, 25 видов осетрообразных (из 27) имеют 5 рядов костных жучек. Это позволяет нам надеятся на положительный результат в обнаружении различий в закономерности строения жучек от пола у других осетровых рыб (например,

у белого осетра, лопатоноса, атлантического осетра и других осетровых, обитаемых в США и Канаде),

Протокол определения пола стерляди. Определение пола возможно осуществлять у стерляди при достижении длины 40 см. Для этого должно быть организовано специальное рабочее место оператора, которое должно включать: стол для просмотра рыбы, за которым оператору было бы удобно проводить просмотр спинных жучек и вести записи; специальный (металлический или деревянный) стол с бортиками для размещения на нем рыбы (оператор, работающий с рыбой, должен иметь беспрепятственный подход к столу); бассейны-накопители для рыбы, которые необходимо расположить в непосредственной близости от оператора. Рыбу располагают на животе (голова слева или справа относительно оператора). Рыбу необходимо удерживать в относительной неподвижности в течение всего процесса определения пола, который может продолжаться от нескольких секунд до нескольких минут. Рекомендуется не кормить рыбу в течении 2–3 суток перед определением пола и использовать анестезию для снижения стресса рыбы.

Для просмотра спинных жучек рекомендуется использовать хорошо освещенное рабочее место, дополнительно использовать ручную или настольную лупу с кросс-поляризованной подсветкой, 5-кратным увеличением и диаметром линзы от 70 мм. Дополнительно может понадобиться светодиодный фонарик белого света со световым потоком от 2000 лм и налобная бинокулярная лупа с подсветкой в сложных случаях. Для определение пола по спинным жучкам также может подойти зеркальная фотокамера типа Canon EOS 600D в режиме макросъемки с усиленной вспышкой, с последующим мечением рыбы и отдельным анализом снимков в программе ImageJ или в любом другом графическом редакторе с возможностью регулирования яркости и контрастности, а также инвертирования цветов. Рекомендуется накрывать голову рыбы тканью для предотвращения возможного пагубного воздействия яркого света на глаза рыбы.

Для определения пола необходимо обследовать первые пять спинных жучек (отсчет ведется от головы, первая жучка, плотно прилегающая к костным пластинкам черепа, во внимание не принимается). Необходимо обращать внимание на три основных параметра:

1. Визуальная форма спинной жучки. Один балл начисляется каждой жучке при сплющенной и овальной формах. Балл не начисляется при вытянутой и округленной форме жучки. Жучки сплющенной и

овальной форм должны характеризоваться: превышением ширины над длиной; условный треугольник имеет вид равнобедренного при проведении линии между верхней точкой жучки и точками в местах пересечения линии, перпендикулярной крайним точкам максимальных зубцов, и линии, проходящей вдоль затылочной части жучки; угол между крайней точкой лопасти и точками начала и завершения образования лопасти должен быть заострен.

2. Визуальная заостренность зубцов. Один балл начисляется каждой жучке, если она имеет множество острых и удлиненных зубцов. При коротких округленных зубцах или при их отсутствии баллы не начисляются.

3. Узкопосаженность жучек. Критерием наличия узкопосаженности является среднее расстояние между первыми пятью спинными жучками, которое должно быть меньше ½ средней длины лопасти соответствующих жучек. При наличии узкопосаженности начисляется общий один балл. Данный критерий определяется только у взрослых особей.

Стерлядь диагностируется как самец, если количество баллов 5 и более, при суммарном количестве баллов 4 и менее стерлядь диагностируется как самка. Если у обследуемого экземпляра имеется мужская жучка, то его относят к самцам без дополнительного подсчета баллов. Пол у личинок определяют по двум параметрам: 1 – наличие или осутствиуе искривления в верхней части жучки, 2 – наличие или отсутствие многочисленных мелких зубцов на поверхности жучки. Личинка относится к самцам, если искривления и зубцы есть как минимум у трех из пяти первых жучек.

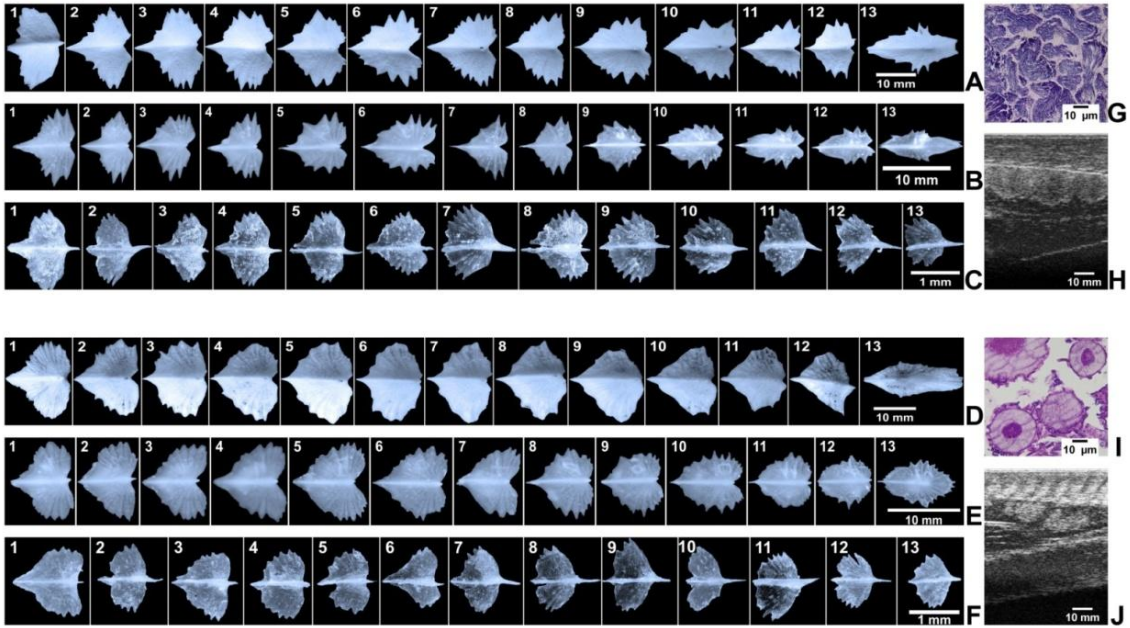


Рис. 5.148. Визуальные половые морфологические различия в строении спинных жучек стерляди. Показаны серия очищенных жучек взрослой (средняя длина 61,2 ± 1,3 см, возраст – 2 года (*A, D*), молоди (средняя длина 24,8±1,5 см, возраст – 1 год (*B, E*) и личинки (средняя длина 70,3 ± 3,6 мм, возраст – 3 месяца (*C, F*) самцов (*A, B, C*) и самок (*D, E, F*). Для идентификации самцов (*G, H*) и самок (*I, J*) взрослой стерляди использовали биопсию, а также методы гистологии (*G, I*) и ультразвуковой диагностики (*H, J*)

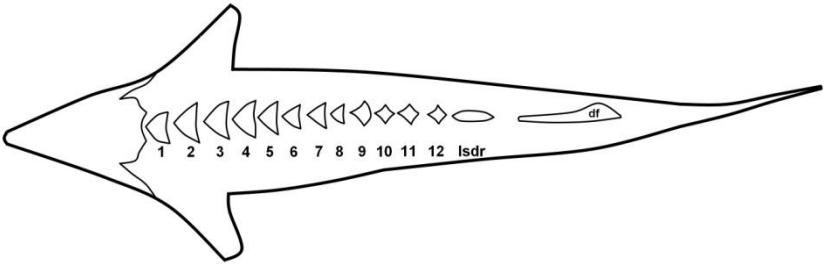


Рис. 5.149. Схема нумерации спинных жучек:
df – спинной плавник (dorsal fin), lsdr – последнняя большая спинная жучка
(last big scute of dorsal row)

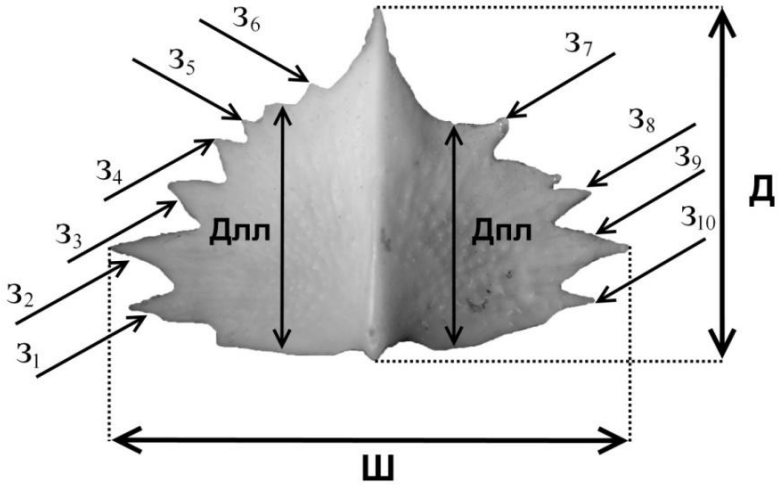


Рис. 5.150. Схема измерения спинной костной пластинки инструментом «Straight Line»:
Д – длина жучки; Ш – ширина жучки; Длл – длина левой лопасти; Дпл – длина правой лопасти; З – зубец; $З_1$ – $З_{10}$ – принцип подсчета количества зубцов

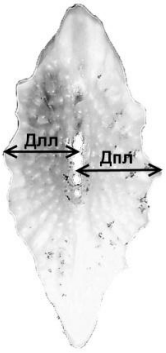


Рис. 5.151. Схема измерения длины левой и правой лопастей последней спинной костной пластинки (копья) инструментом Straight Line

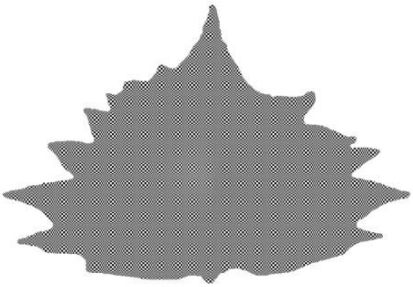


Рис. 5.152. Схема измерения площади спинной костной пластинки инструментом Segmented Line

Рис. 5.153. Схема построения условного круга, в который помещается спинная костная пластинка, инструментом Elliptical selections

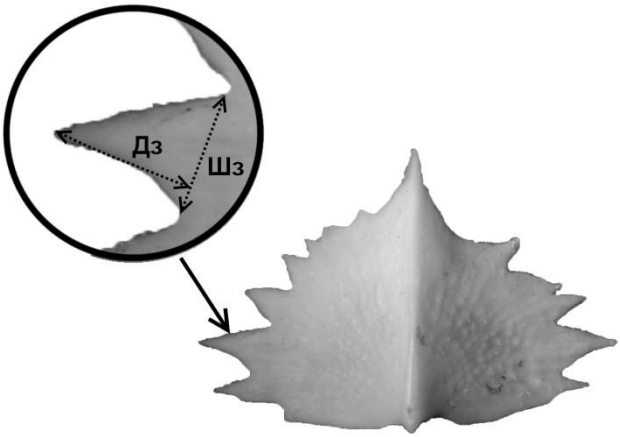
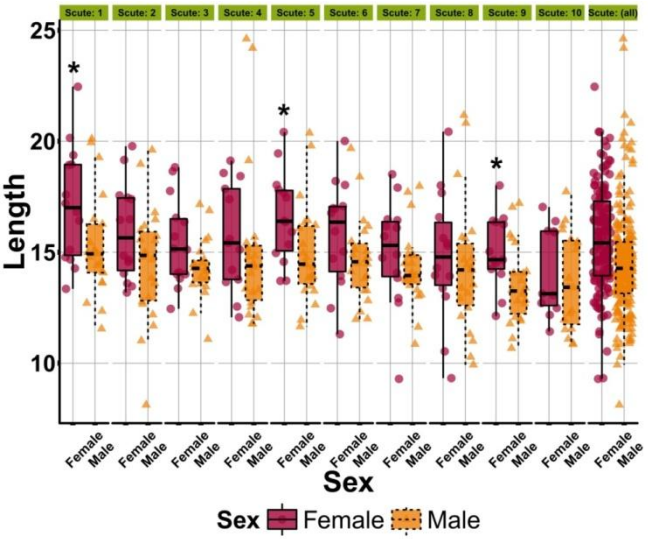
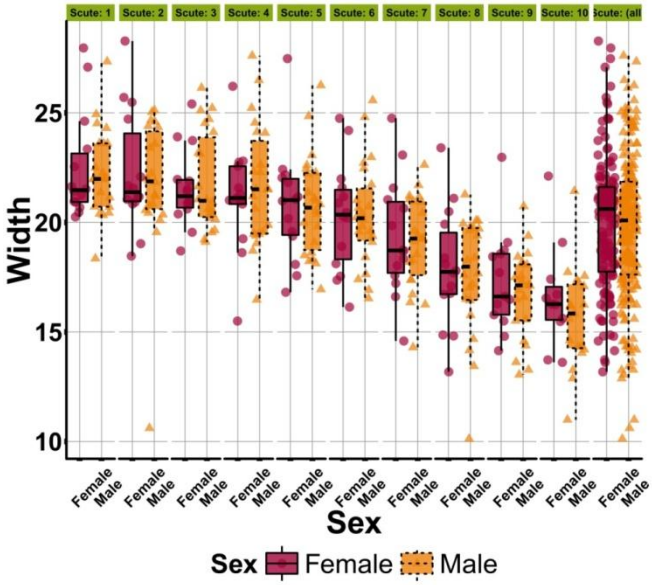


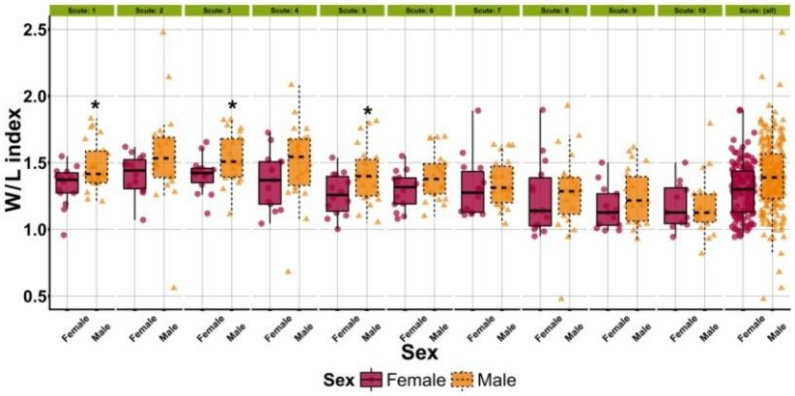
Рис. 5.154. Схема измерения длины и ширины максимального зубца спинной костной пластинки



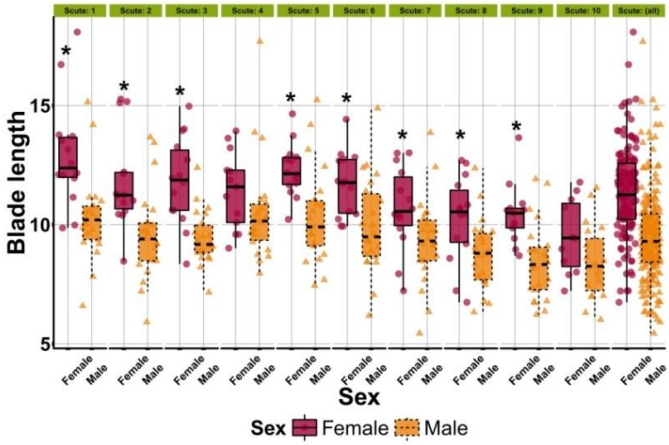
a


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all
Width
25
20
15
10
Female
Male
Sex
Sex Female Male

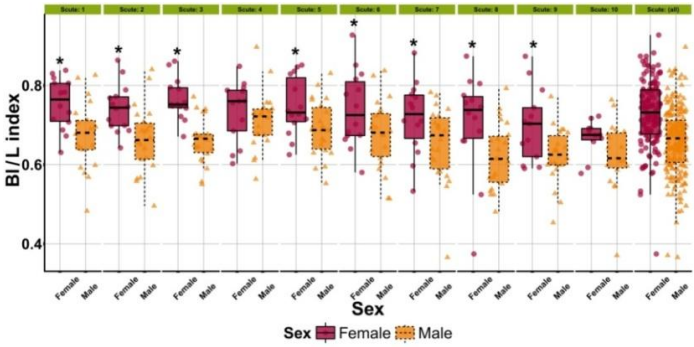
b


W/L index
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
*
Female
Male
Sex
Sex Female Male

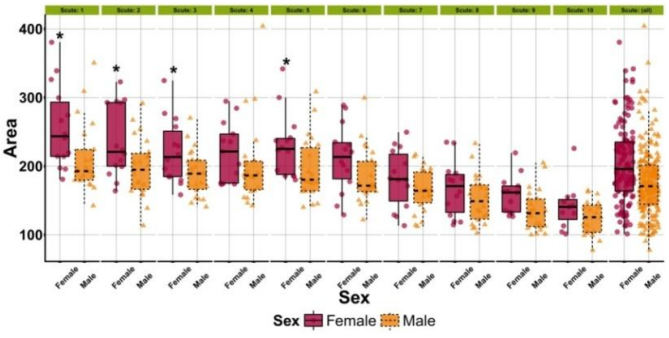
c


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Blade length
15
10
5
Female
Male
Sex
Sex Female Male

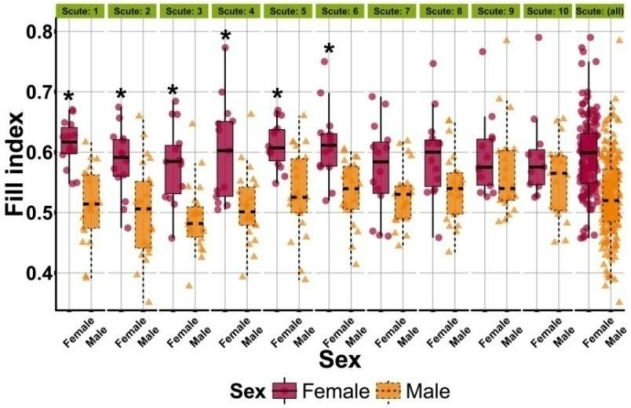
d


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
BI/L index
0.8
0.6
0.4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

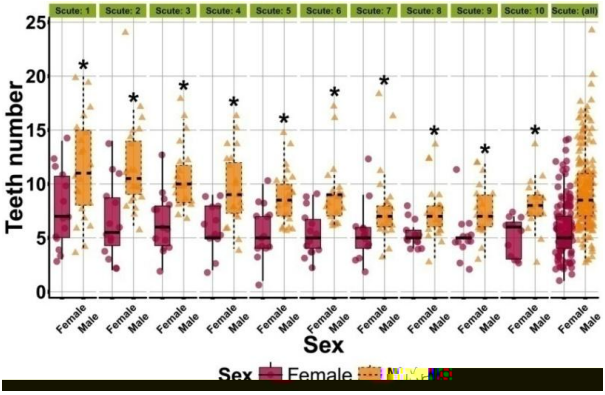
e


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Area
400
300
200
100
Female
Male
Sex
Sex Female Male

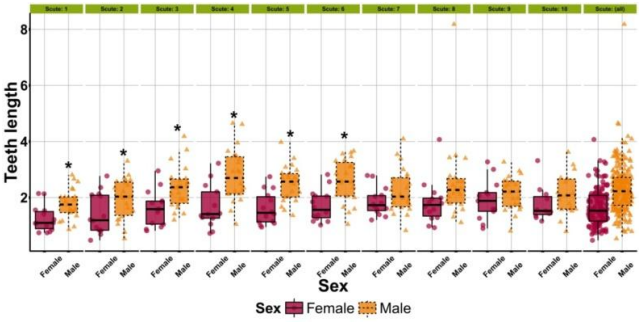
f


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Fill index
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

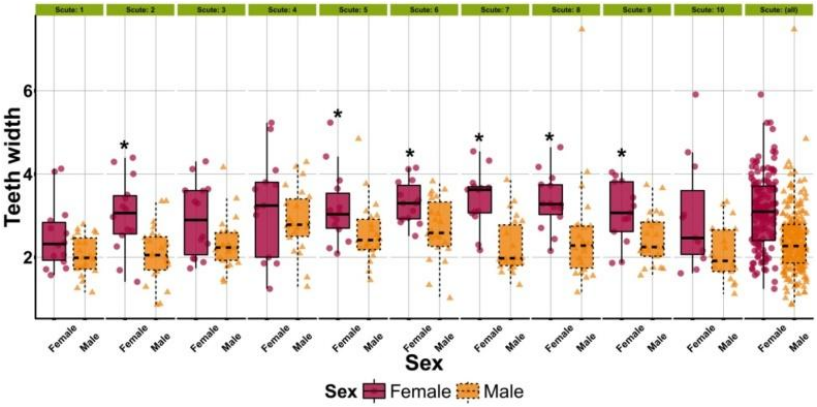
g


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth number
25
20
15
10
5
0
Female
Male
Sex
Sex Female

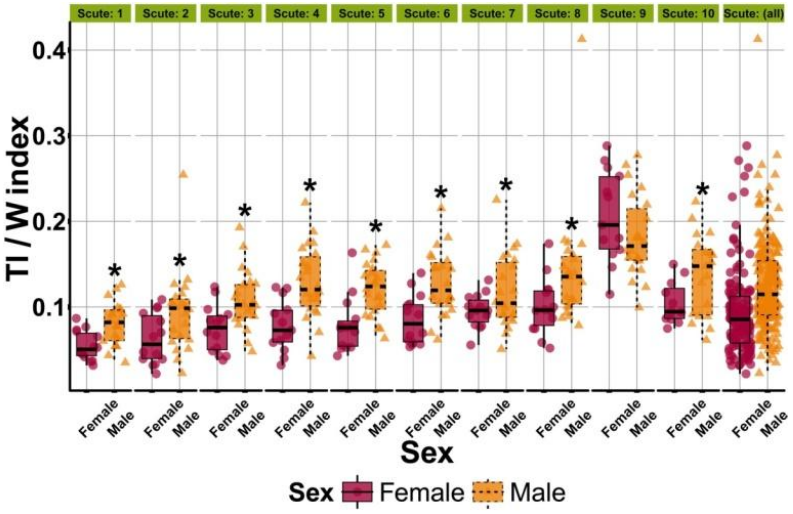
h


Teeth length
8
6
4
2
Female
Male
Sex
Sex Female Male

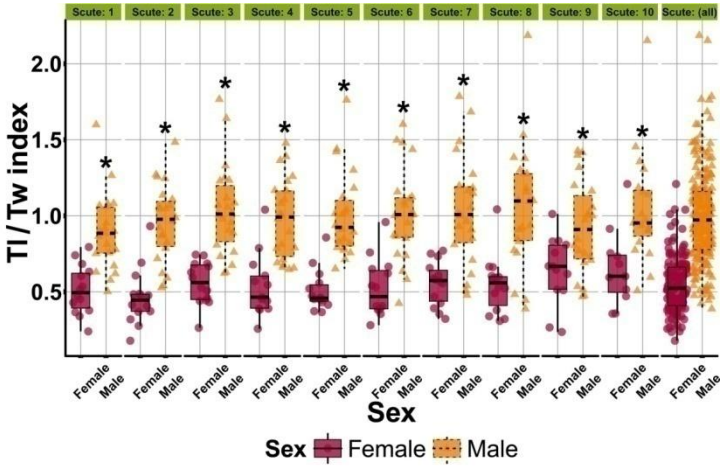
i


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth width
6
4
2
Female
Male
Sex
Sex Female Male

j

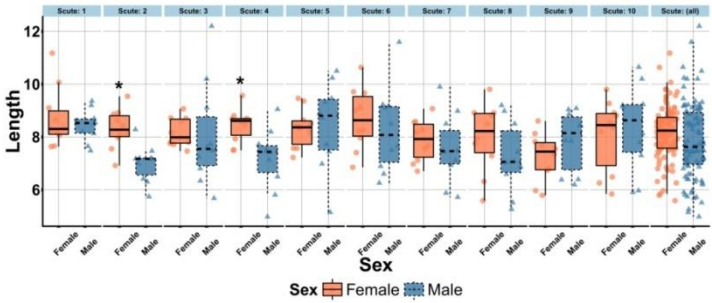

Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
TI / W index
0.4
0.3
0.2
0.1
Female
Male
Sex
Sex Female Male

k

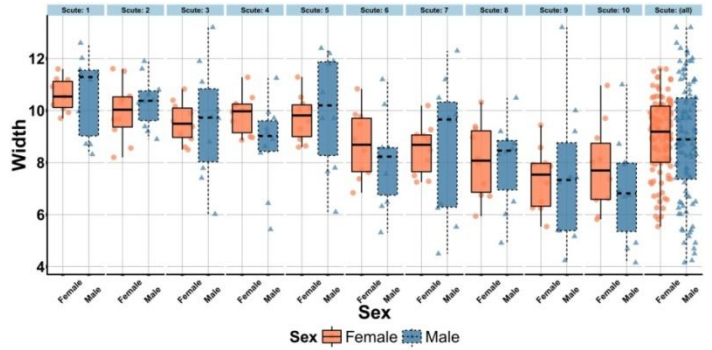


l

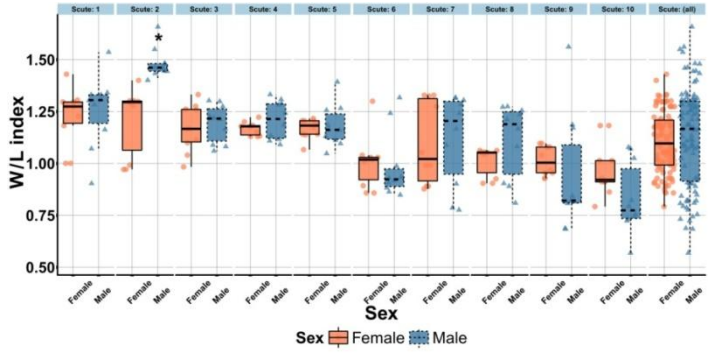
Рис. 5.155. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения значений морфологических параметров и коэффициентов спинных костных жучек взрослой стерляди в зависимости от пола и номера жучки: длина жучки (*a*); ширина жучки (*b*); длина лопасти жучки (*c*); площадь жучки (*d*); количество зубцов жучки (*e*); длина зубца (*f*) ширина зубца (*g*); коэффициент Ш/Д (*h*); коэффициент Дл/Д (*i*); коэффициент заполнения (*j*); коэффициент Дз/Ш (*k*); коэффициент Дз/Шз (*l*). Символ (*) показывает наличие статически достоверных отличий ($p < 0,05$) (Mann-Whitney U-test). Количество просмотренных рыб – 37. Количество просмотренных жучек – 370. Условные обозначения: scute length – длина жучки; scute width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; scute area – площадь жучки; teeth number – количество зубцов жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; scute – жучка; sex – пол; female – самка; male – самец


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Length
12
10
8
6
Female
Male
Sex
Sex Female Male

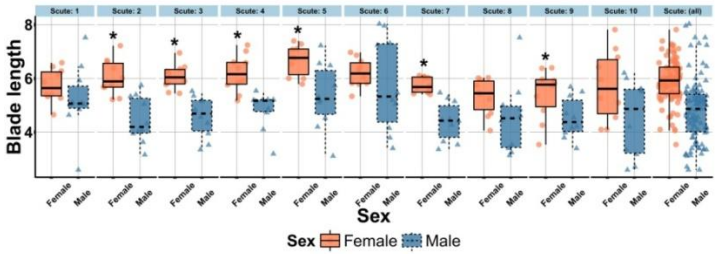
a


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Width
12
10
8
6
4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

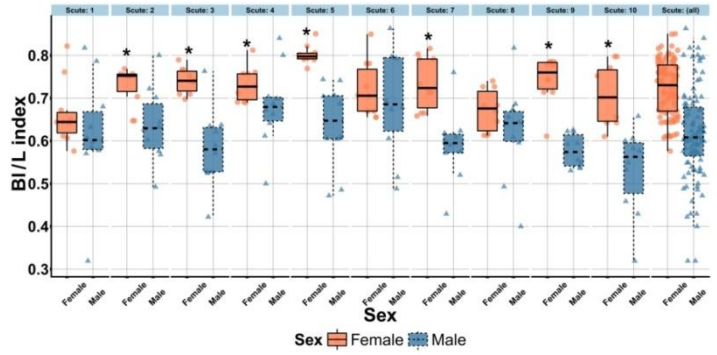
b


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
W/L index
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
Female
Male
Sex
Sex Female Male

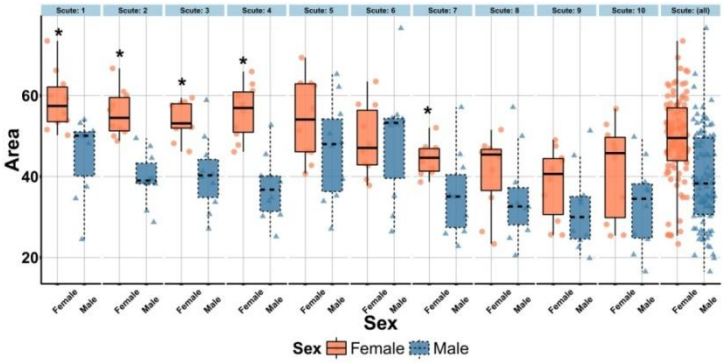
c


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Blade length
8
6
4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

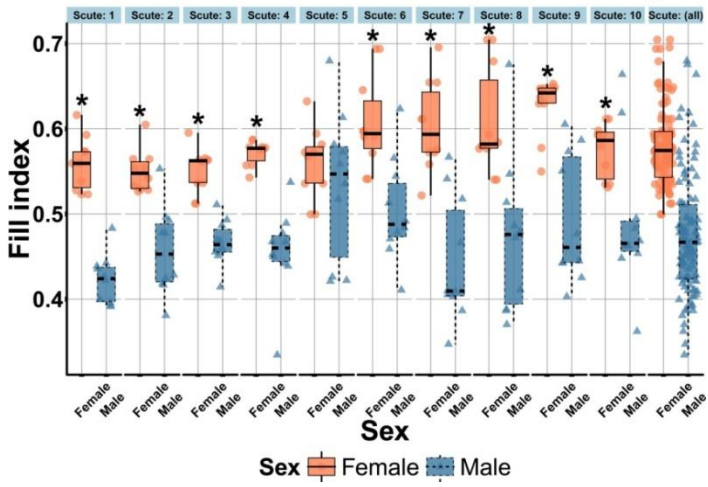
d


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Bl/L index
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
Female
Male
Sex
Sex Female Male

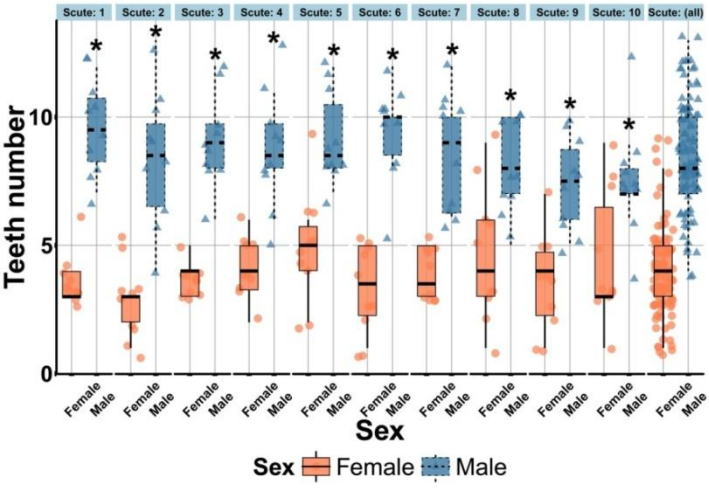
e


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Area
60
40
20
Female
Male
Sex
Sex Female Male

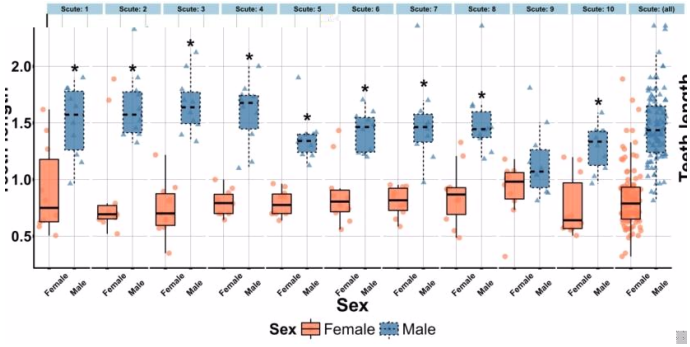
f


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Fill index
0.7
0.6
0.5
0.4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

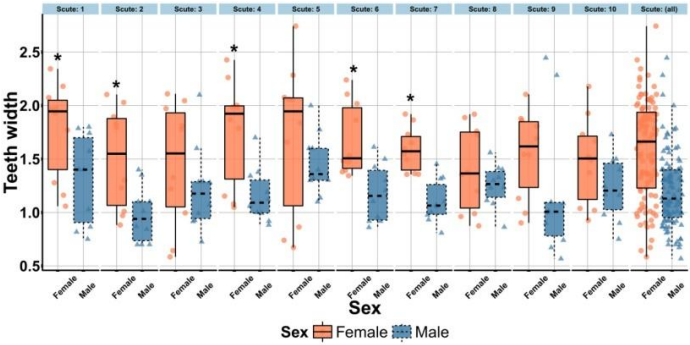
g


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth number
10
5
0
Female
Male
Sex
Sex Female Male

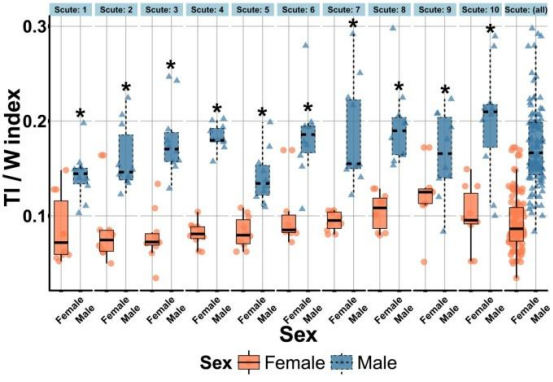
h


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Tooth length
Female
Male
Sex
Sex Female Male

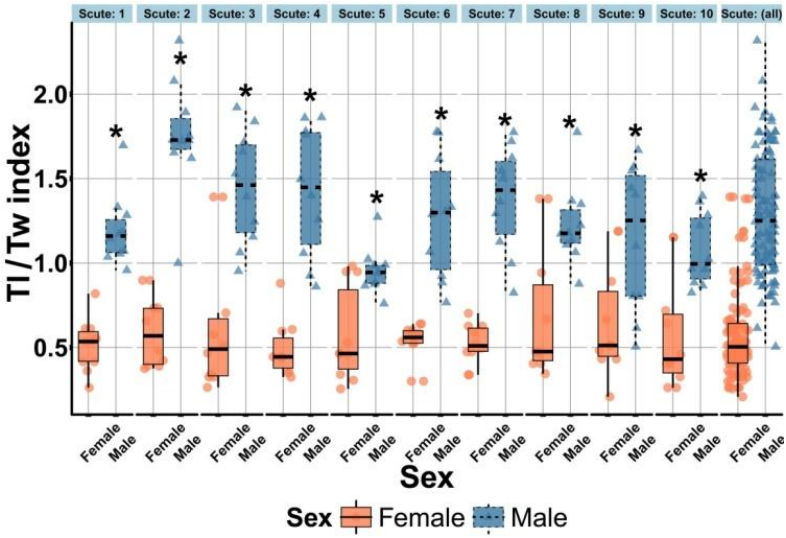
i


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth width
Female
Male
Sex
Sex Female Male

j

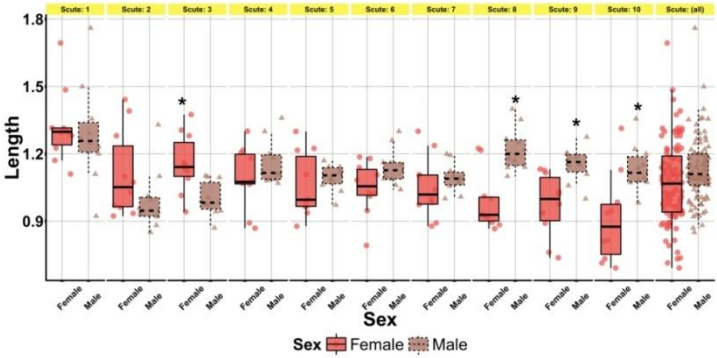

Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
TI / W index
Female
Male
Sex
Sex Female Male

k

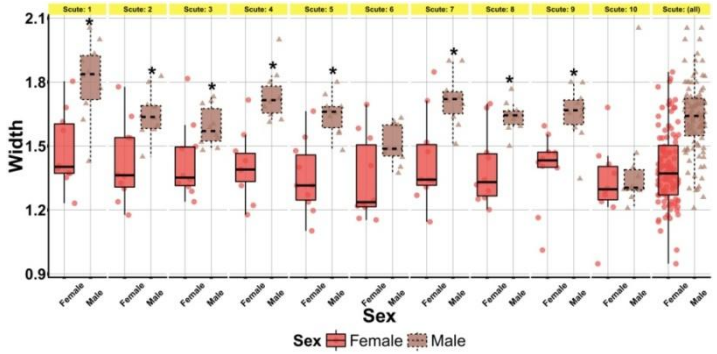


l

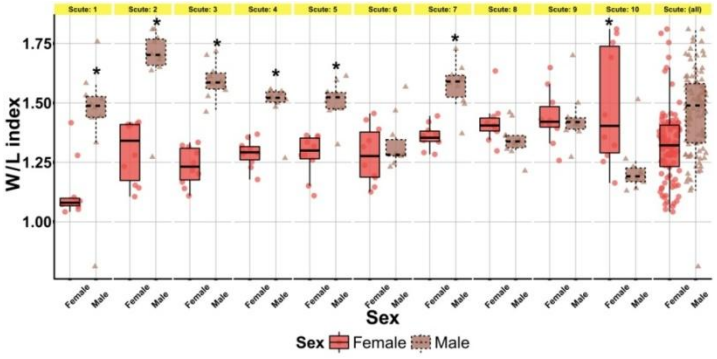
Рис. 5.156. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения значений морфологических параметров и коэффициентов спинных костных жучек молоди стерляди в зависимости от пола и номера жучки: длина жучки (*a*); ширина жучки (*b*); длина лопасти жучки (*c*); площадь жучки (*d*); количество зубцов жучки (*e*); длина зубца (*f*); ширина зубца (*g*); коэффициент Ш/Д (*h*); коэффициент Дл/Д (*i*); коэффициент заполнения (*j*); коэффициент Дз/Ш (*k*); коэффициент Дз/Шз (*l*). Символ (*) показывает наличие статически достоверных отличий ($p < 0,05$) (Mann-Whitney U-test). Количество просмотренных рыб – 20. Количество просмотренных жучек – 200. Условные обозначения: scute length – длина жучки; scute width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; scute area – площадь жучки; teeth number – количество зубцов жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; scute – жучка; sex – пол; female – самка; male – самец


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Length
1.8
1.5
1.2
0.9
Female
Male
Sex
Sex Female Male

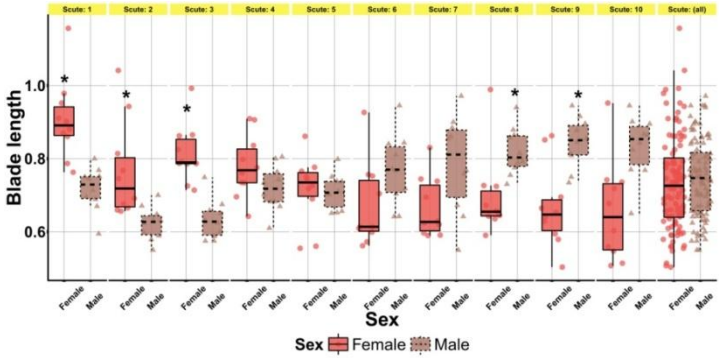
a


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Width
2.1
1.8
1.5
1.2
0.9
Female
Male
Sex
Sex Female Male

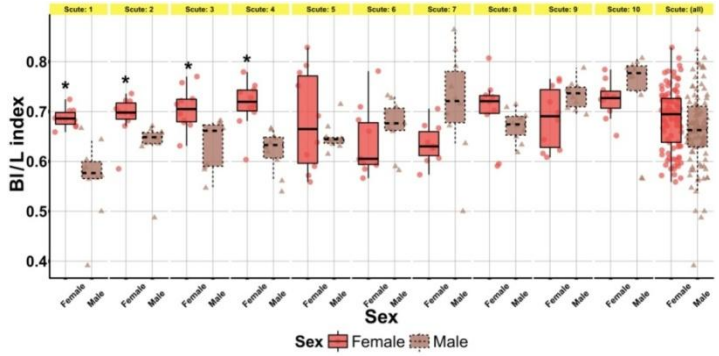
b


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
W/L index
1.75
1.50
1.25
1.00
Female
Male
Sex
Sex Female Male

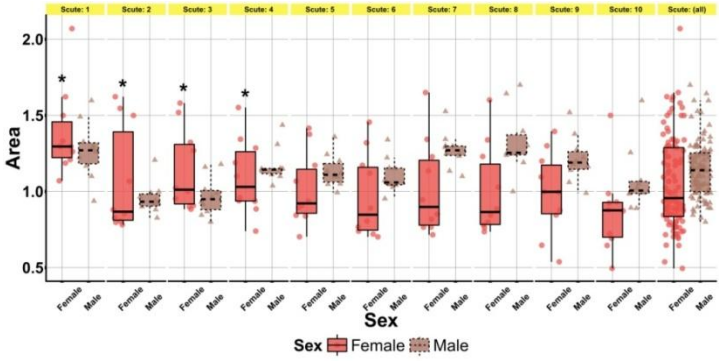
c


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Blade length
1.0
0.8
0.6
Female
Male
Sex
Sex Female Male

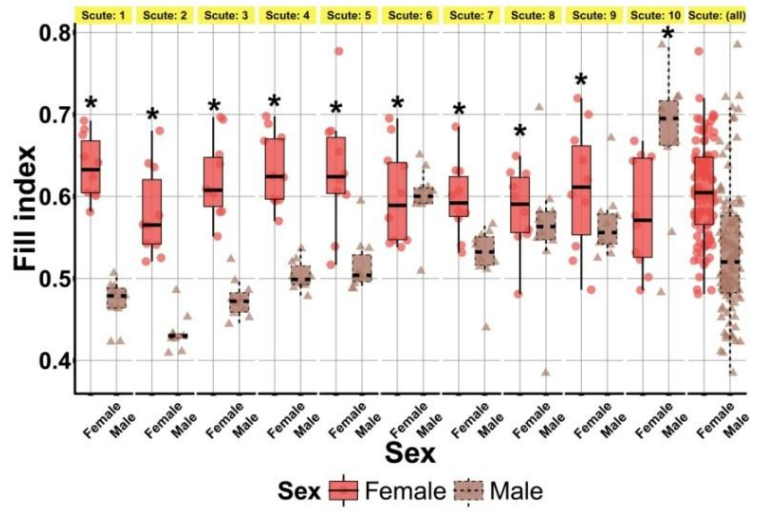
d


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
BI/L index
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
Female
Male
Sex
Sex Female Male

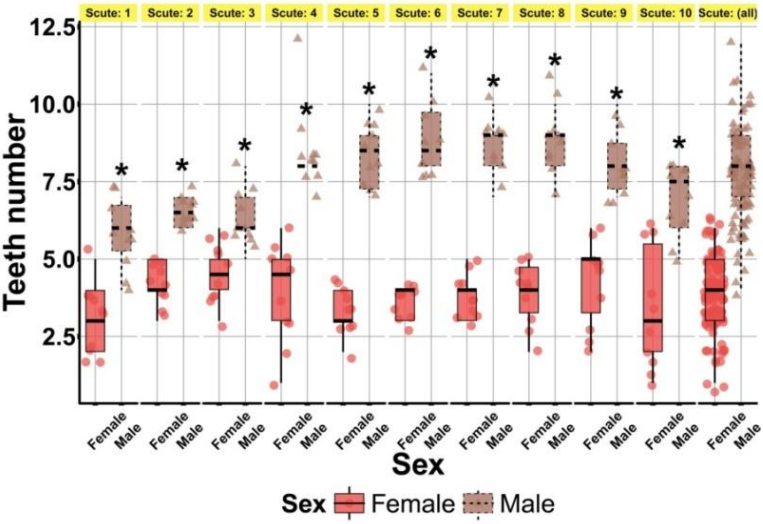
e


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Area
2.0
1.5
1.0
0.5
Female
Male
Sex
Sex Female Male

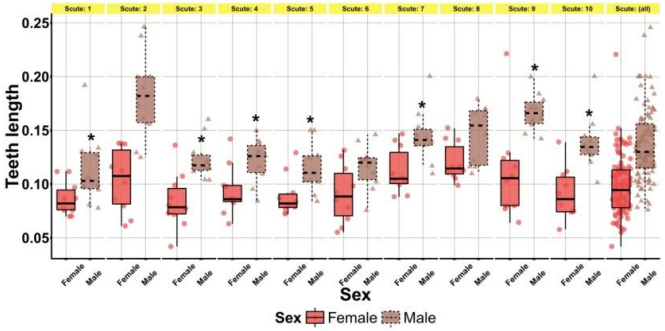
f


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Fill index
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
Female
Male
Sex
Sex
Female
Male

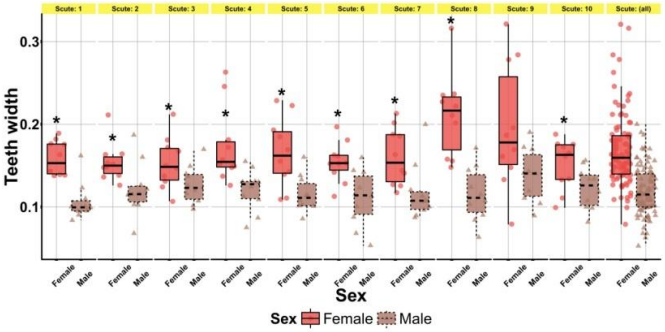
g


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth number
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
Female
Male
Sex
Sex
Female
Male

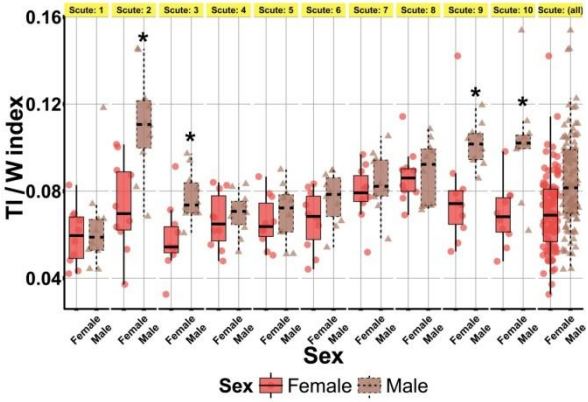
h


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth length
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
Female
Male
Sex
Sex Female Male

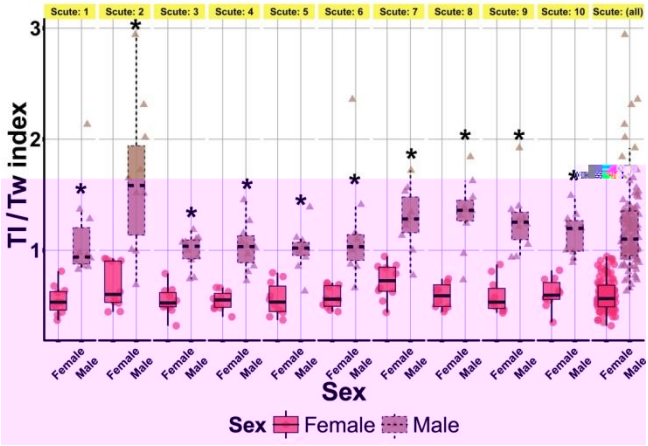
i


Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
Teeth width
0.3
0.2
0.1
Female
Male
Sex
Sex Female Male

j

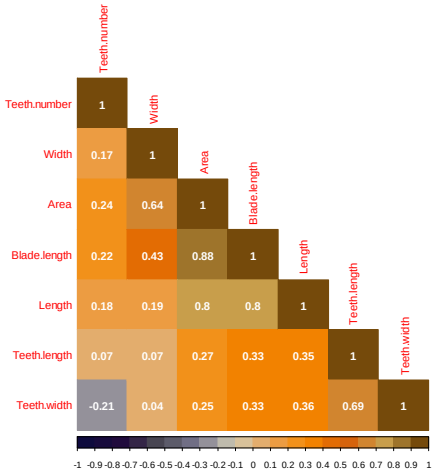

Scute: 1
Scute: 2
Scute: 3
Scute: 4
Scute: 5
Scute: 6
Scute: 7
Scute: 8
Scute: 9
Scute: 10
Scute: (all)
TI/W index
0.16
0.12
0.08
0.04
Female
Male
Sex
Sex Female Male

k

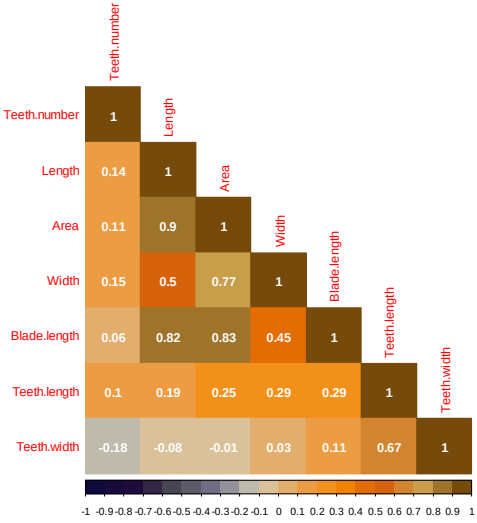


l

Рис. 5.157. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения значений морфологических параметров и коэффициентов спинных костных жучек личинок стерляди в зависимости от пола и номера жучки: длина жучки (*a*); ширина жучки (*b*); длина лопасти жучки (*c*); площадь жучки (*d*); количество зубцов жучки (*e*); длина зубца (*f*); ширина зубца (*g*); коэффициент Ш/Д (*h*); коэффициент Дл/Д (*i*); коэффициент заполнения (*j*); коэффициент Дз/Ш (*k*); коэффициент Дз/Шз (*l*). Символ (*) показывает наличие статически достоверных отличий ($p < 0,05$) (Mann-Whitney U-test). Количество просмотренных рыб – 20. Количество просмотренных жучек – 200. Условные обозначения: scute length – длина жучки; scute width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; scute area – площадь жучки; teeth number – количество зубцов жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; scute – жучка; sex – пол; female – самка; male – самец

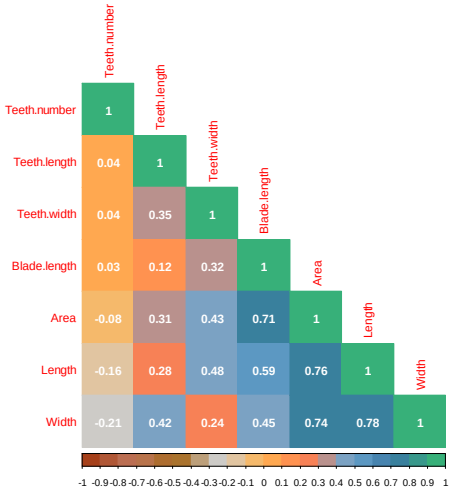


a

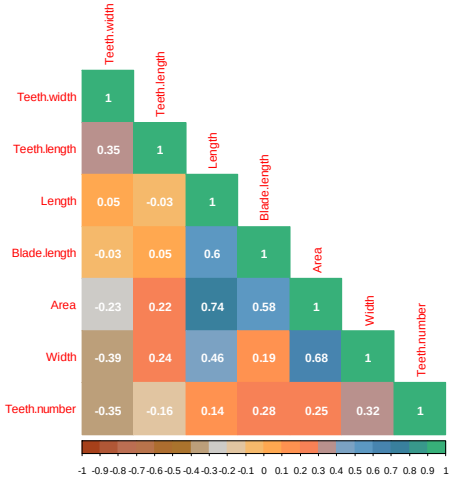


b

Рис. 5.158. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей морфологических показателей первых пяти спинных жучек взрослых самцов (*a*) и самок (*b*) взрослой стерляди. Количество просмотренных рыб – 37. Количество просмотренных жучек – 185

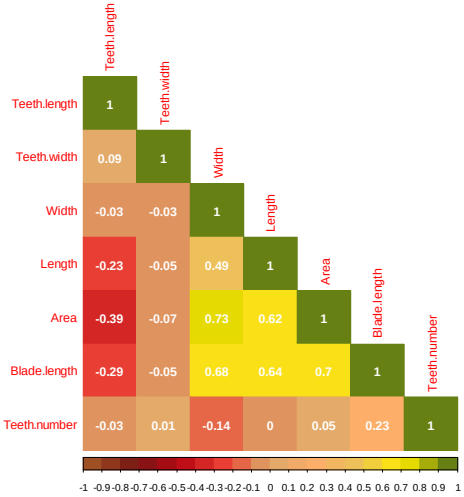


a

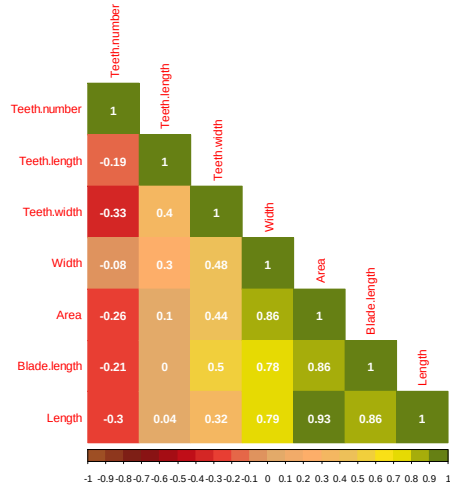


b

Рис. 5.159. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей морфологических показателей первых пяти спинных жучек молоди самцов (*a*) и самок (*b*) стерляди. Количество просмотренных рыб – 20. Количество просмотренных жучек – 100

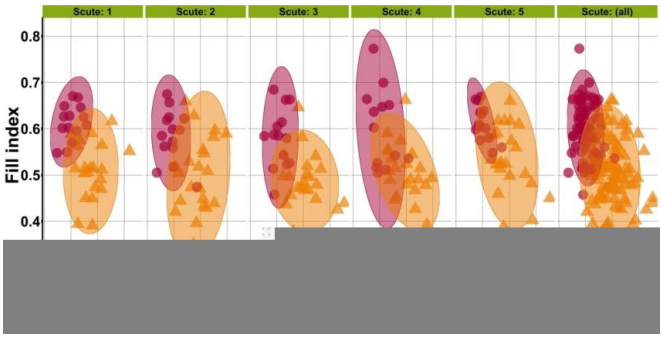


a

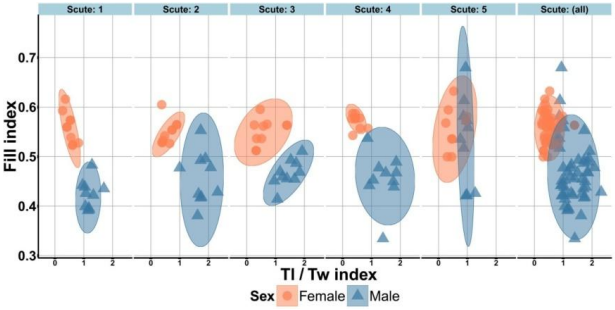


b

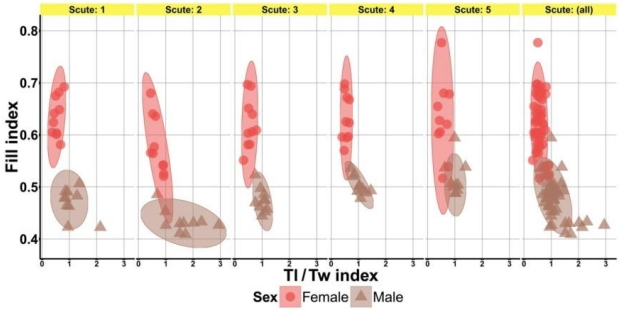
Рис. 5.160. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей морфологических показателей первых пяти спинных жучек личинок самцов (*a*) и самок (*b*) молоди стерляди. Количество просмотренных рыб – 20 Количество просмотренных жучек – 100



a



b



c

Рис. 5.161. Результаты распределения точек показывают образование полоспецифических классов (кластеров) между отобранными показателямиморфологических коэффициентов первых пяти спинных жучек взрослой (*a*), молоди (*b*) и личинок (*c*) стерляди. Количество просмотренных рыб – 37 шт. (взрослых), 20 шт. (молоди) и 20 шт. (личинок). Количество просмотренных жучек – 185 шт. (взрослых), 100 шт. (молоди) и 100 шт. (личинок). Условные обозначения: fill index – коэффициент заполнения; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; scute – жучка; sex – пол; female – самка; male – самец

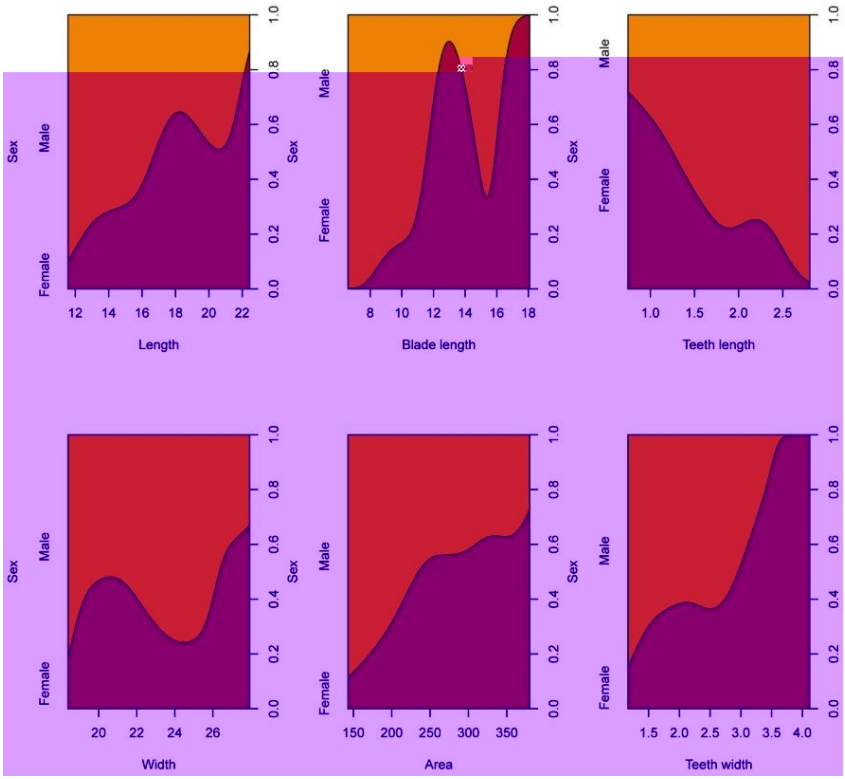


Рис. 5.162. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров первой спинной жучки взрослой стерляди от пола.
Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти
жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца;
teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

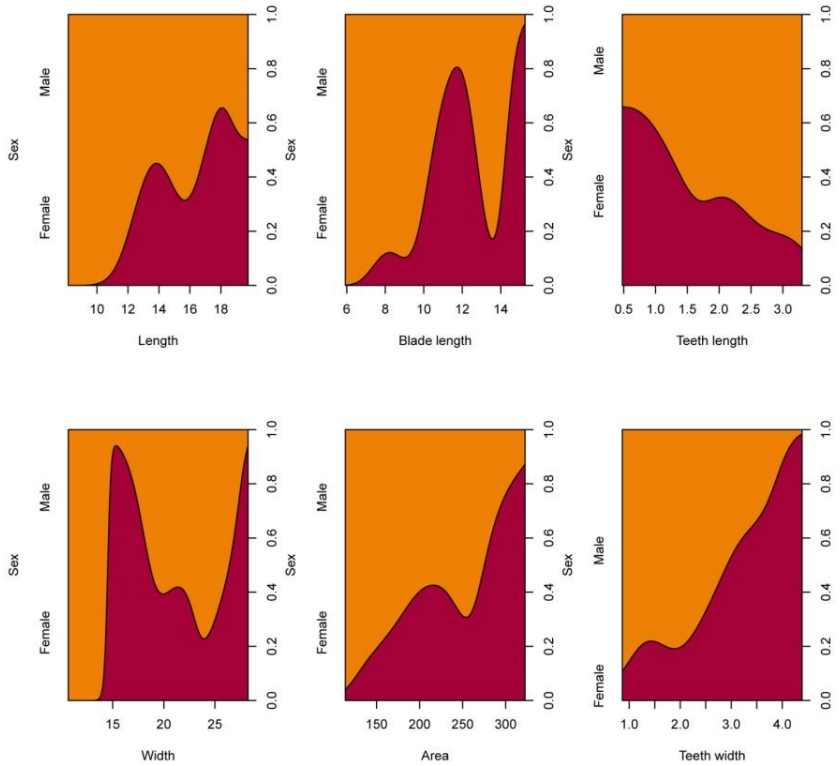


Рис. 5.163. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров второй спинной жучки взрослой стерляди от пола.
Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти
жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца;
teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

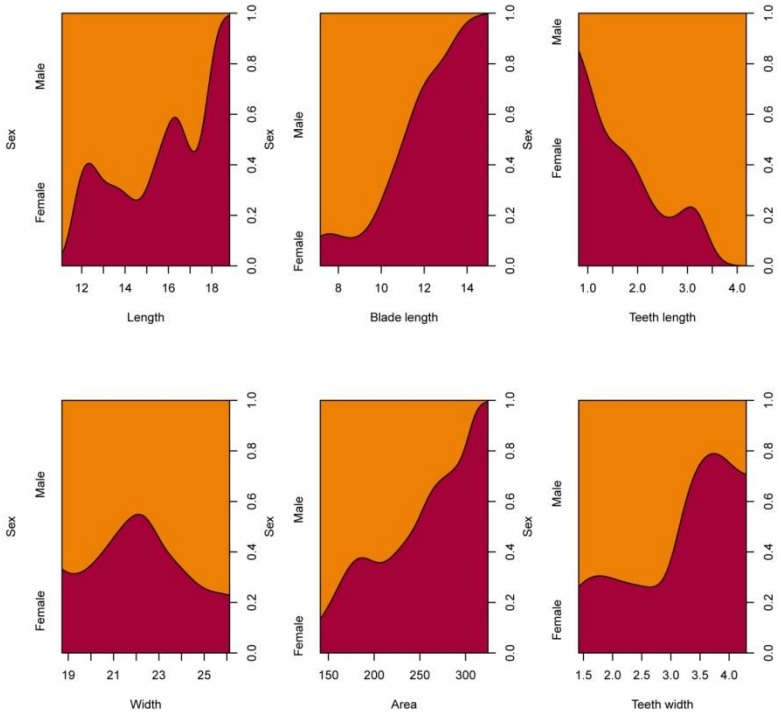


Рис. 5.164. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров третьей спинной жучки взрослой стерляди от пола.
Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти
жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

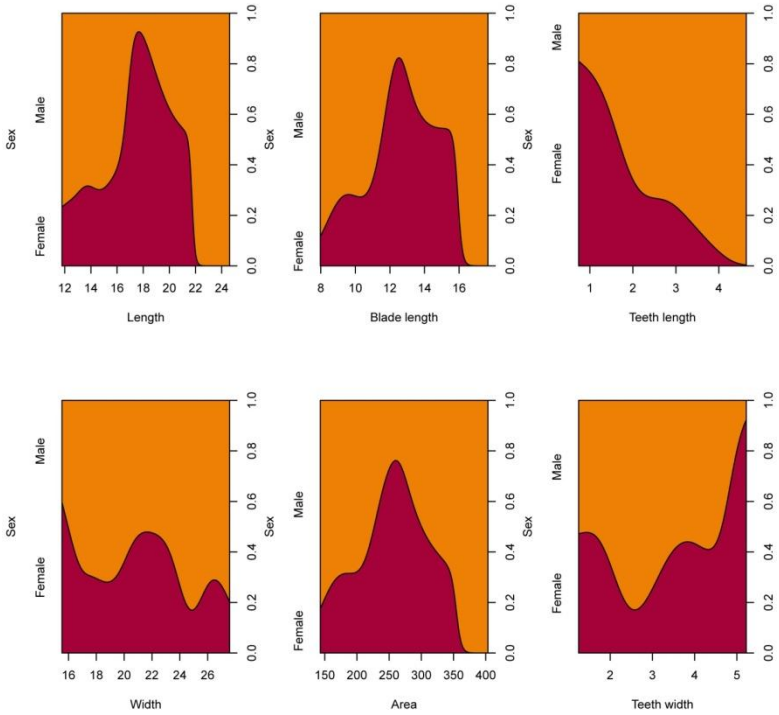


Рис. 5.165. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров четвертой спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

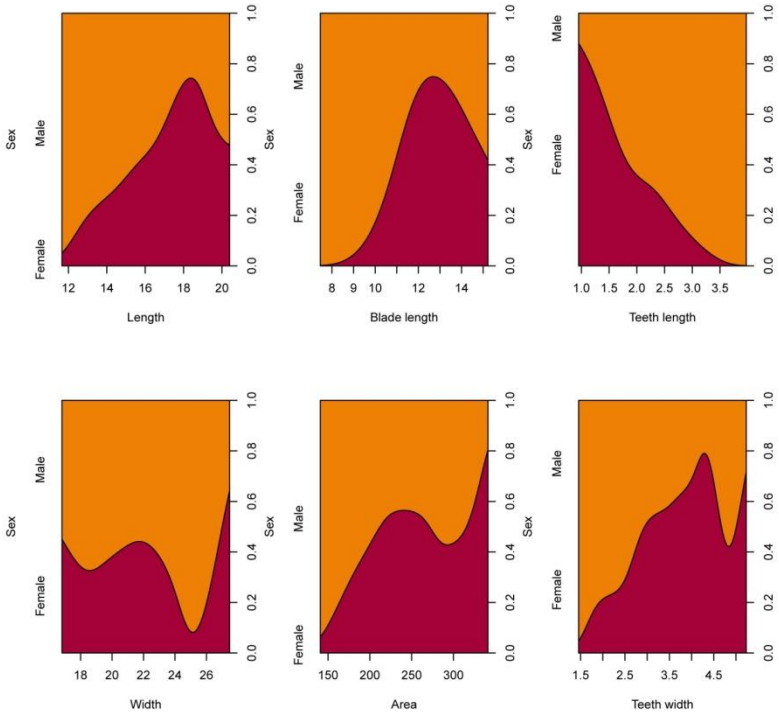


Рис. 5.166. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров пятой спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

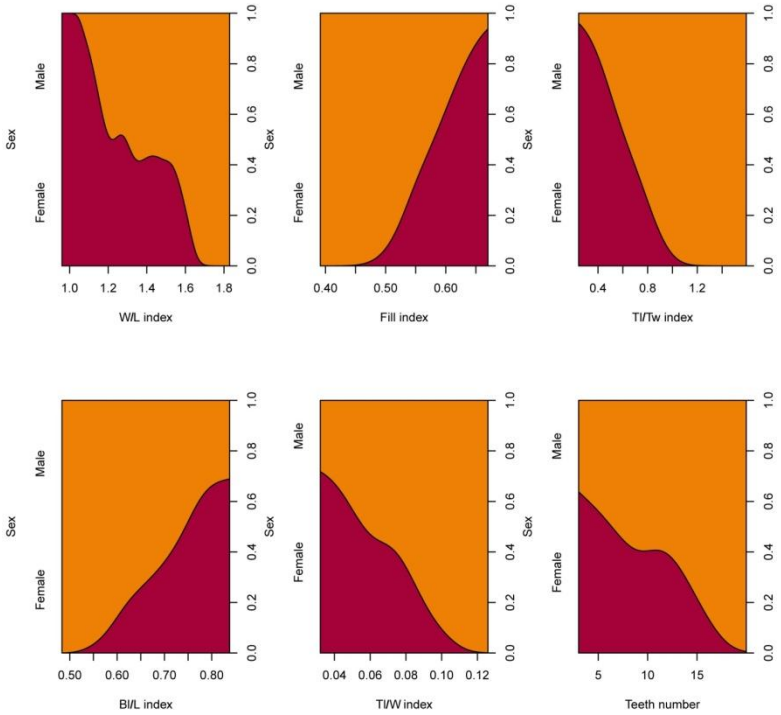


Рис. 5.167. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов первой спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

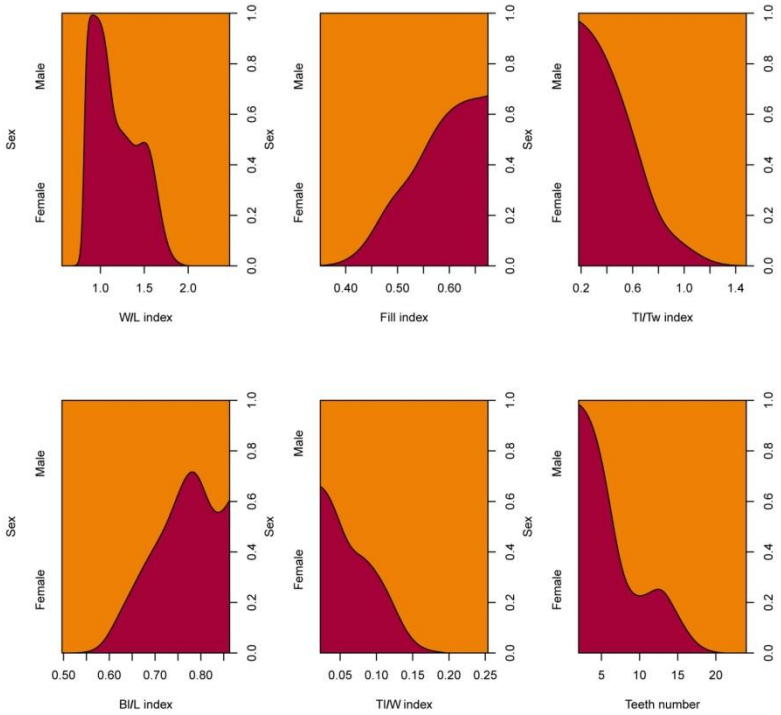


Рис. 5.168. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов второй спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

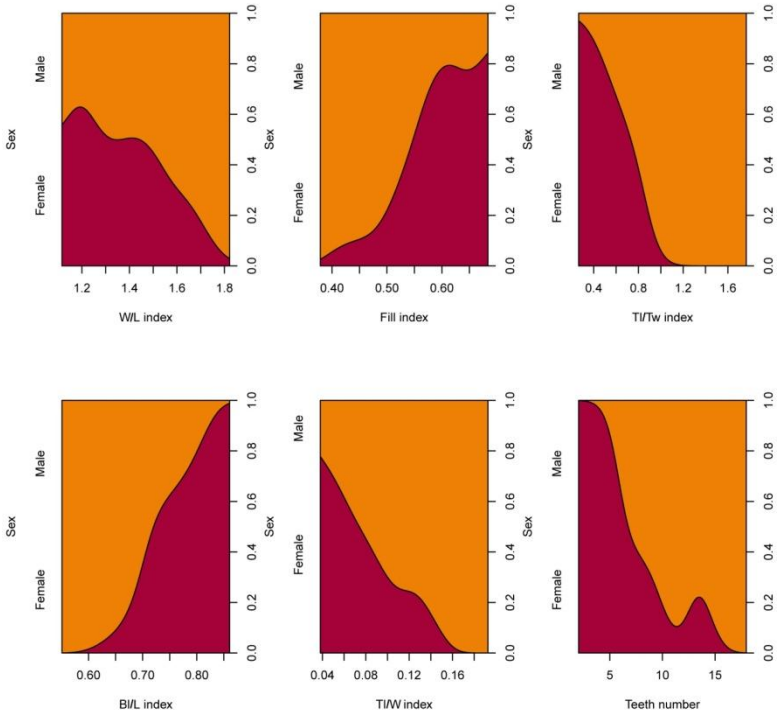


Рис. 5.169. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов третьей спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

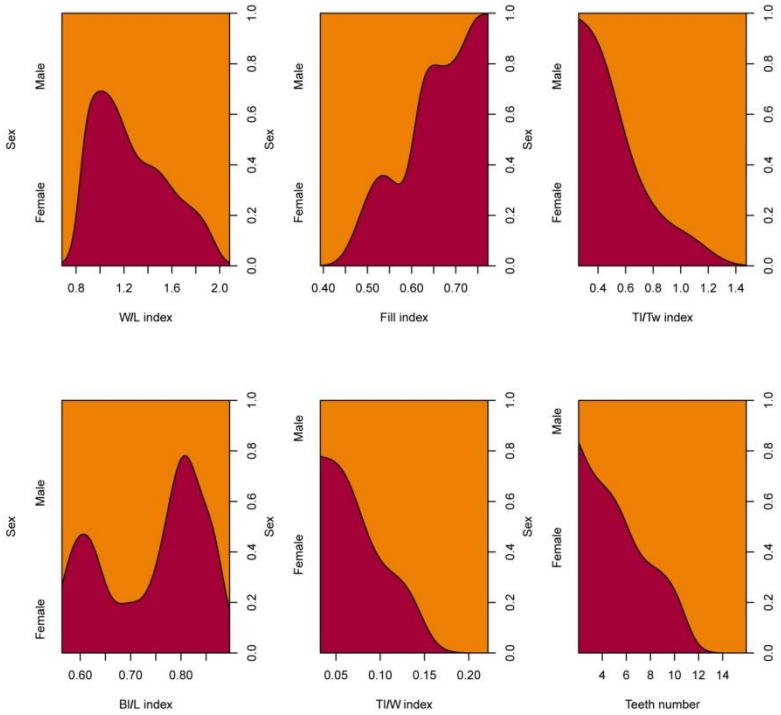


Рис. 5.170. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов четвертой спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

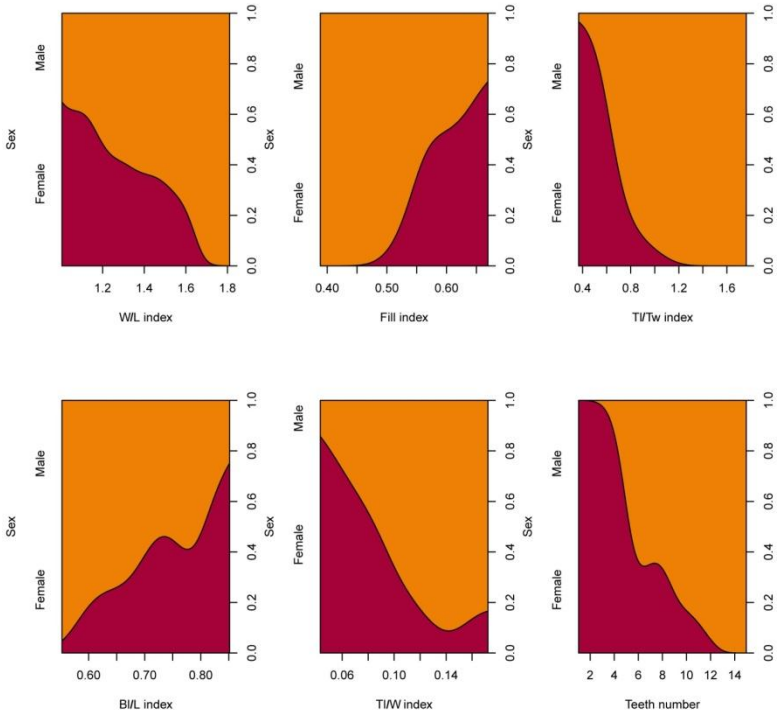


Рис. 5.171. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов пятой спинной жучки взрослой стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

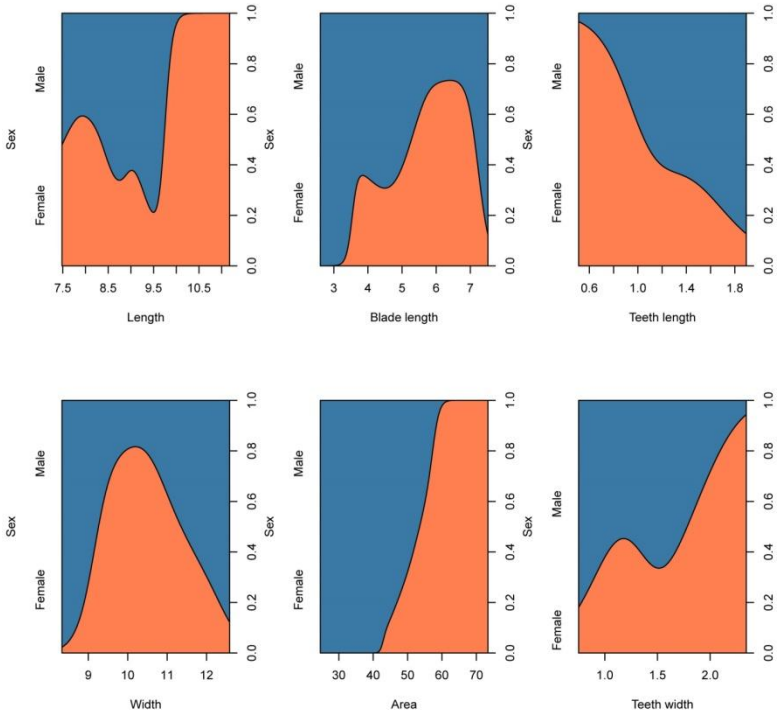


Рис. 5.172. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров первой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

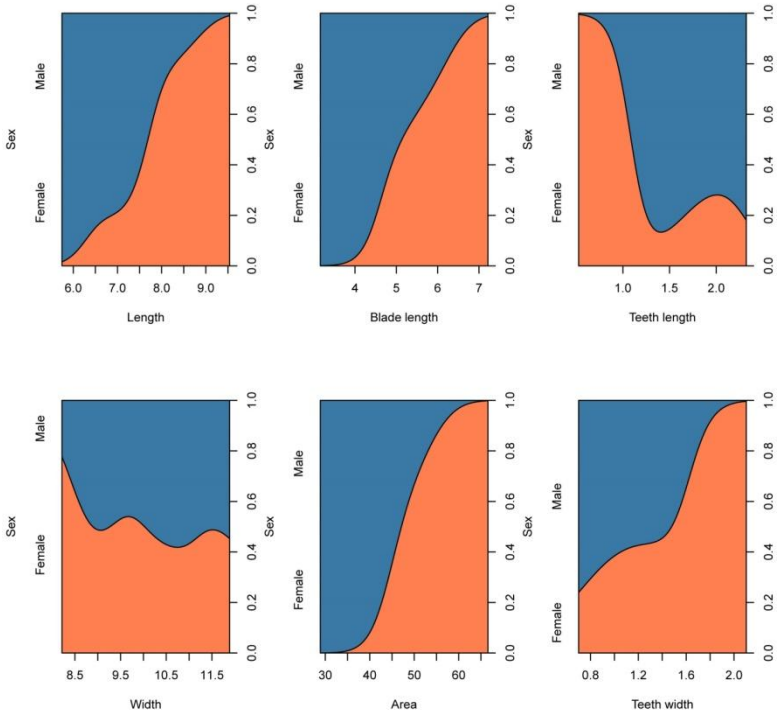


Рис. 5.173. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров второй спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

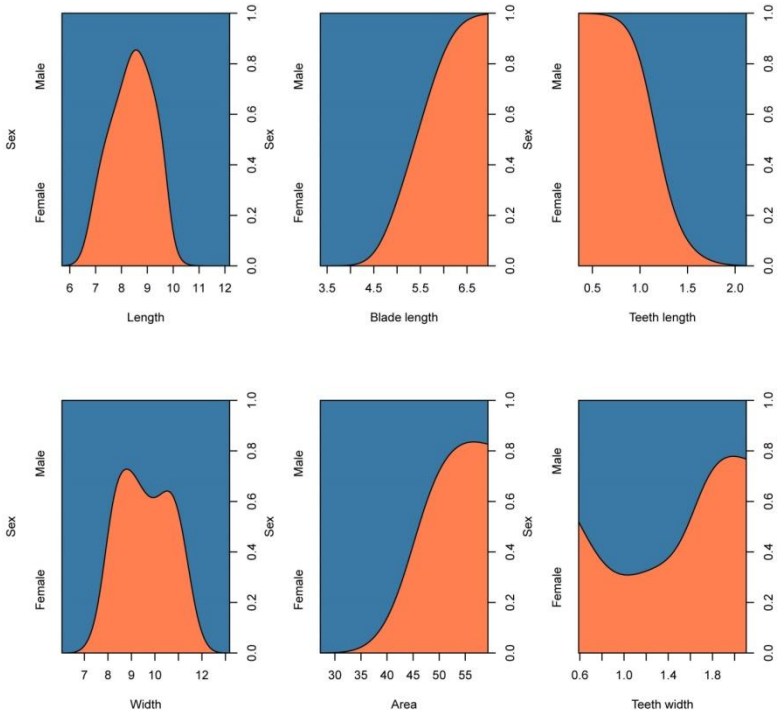


Рис. 5.174. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров третьей спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

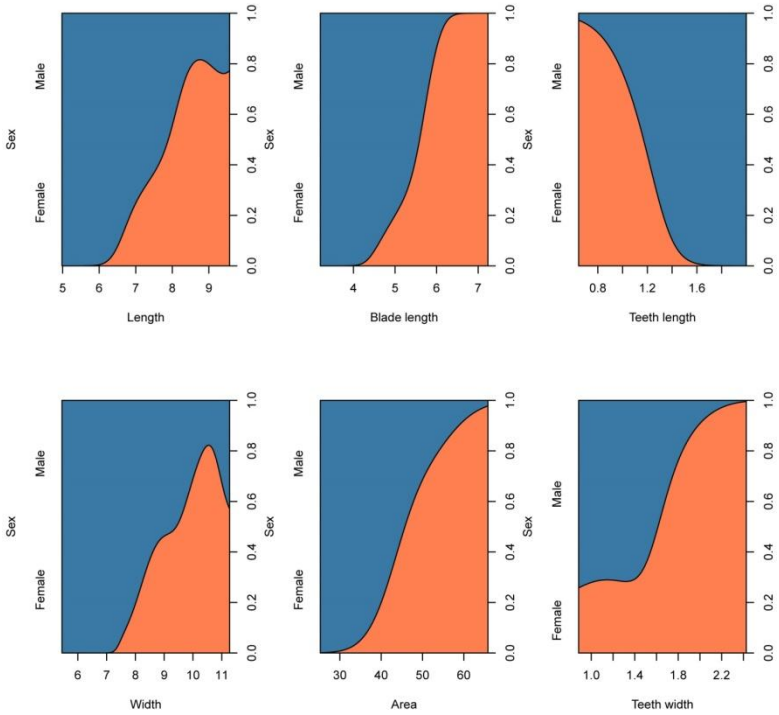


Рис. 5.175. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров четвертой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

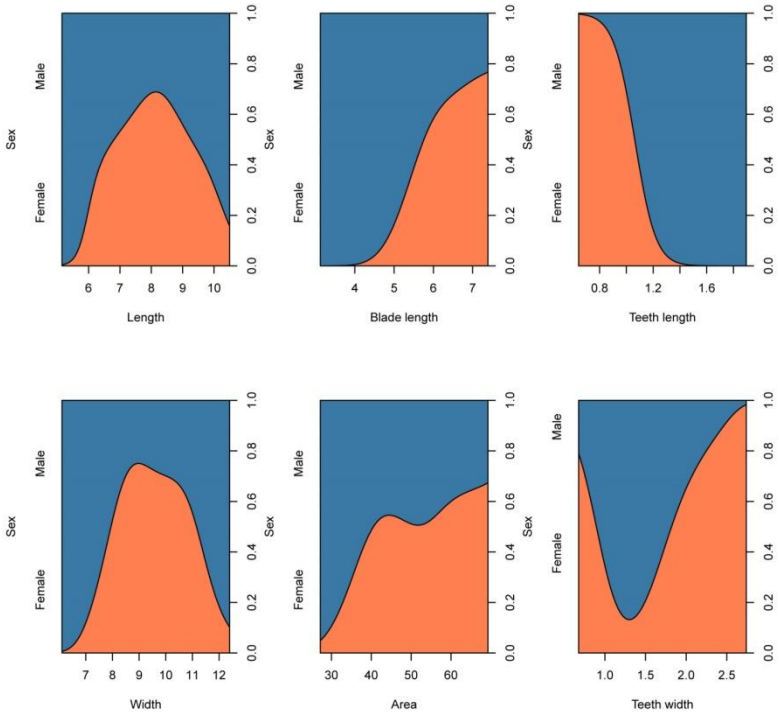


Рис. 5.176. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров пятой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

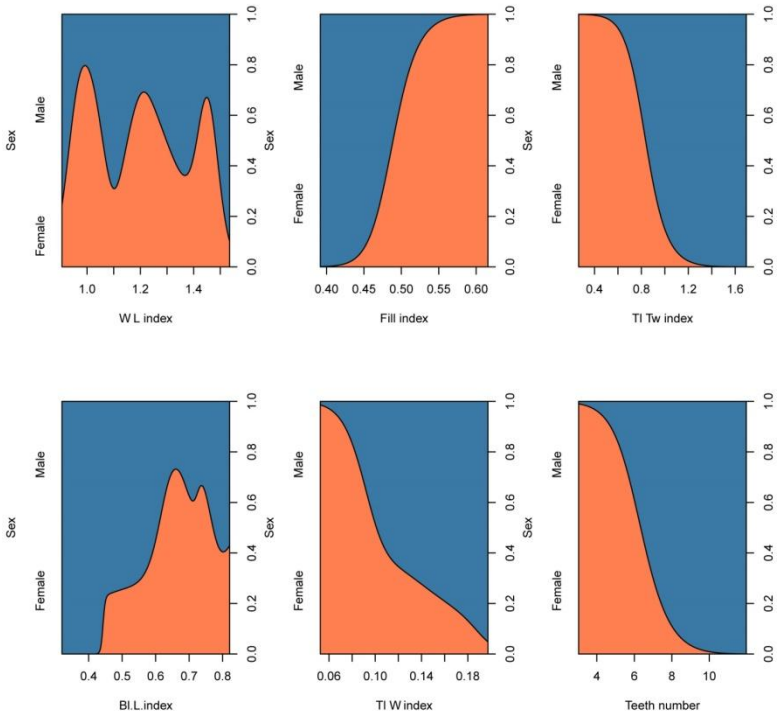


Рис. 5.177. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов первой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

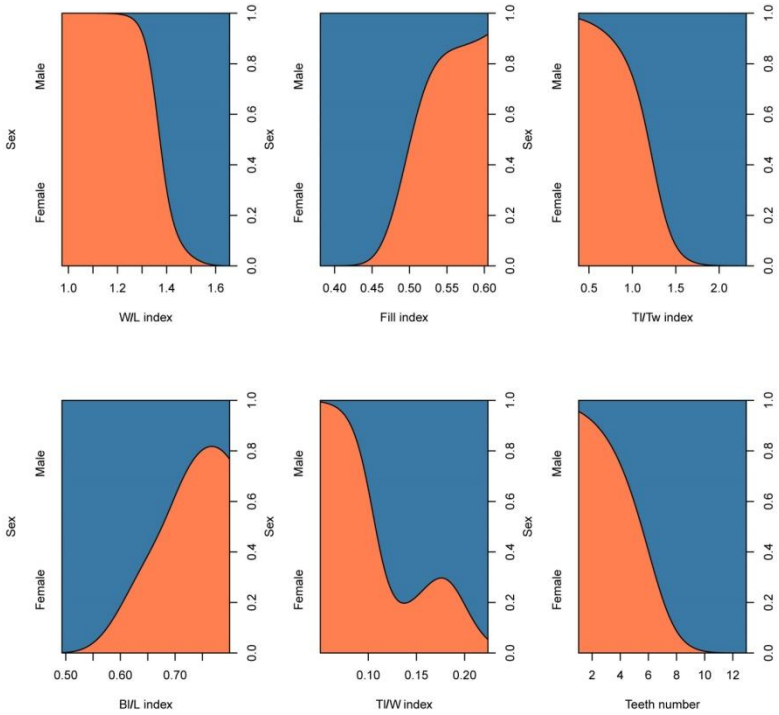


Рис. 5.178. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов второй спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

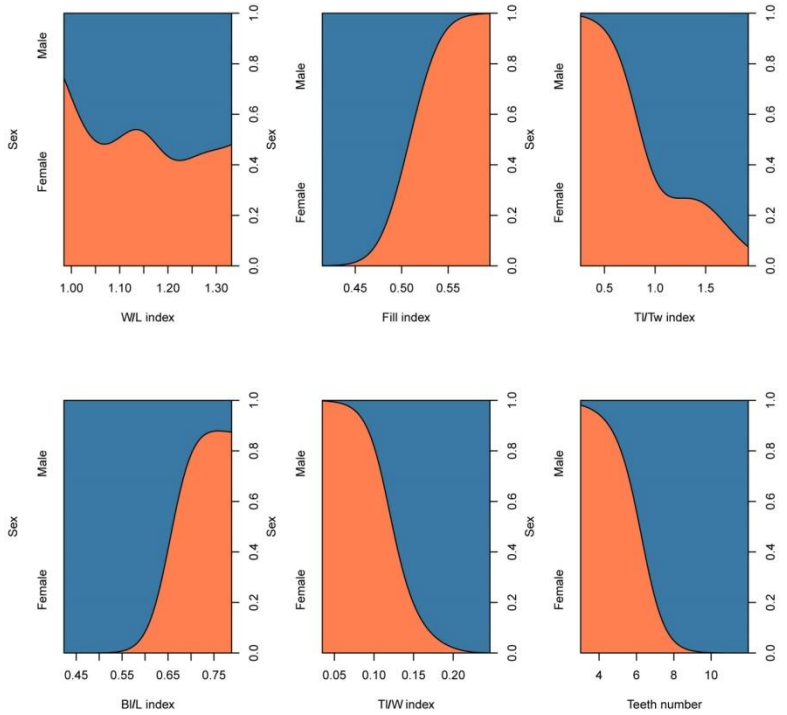


Рис. 5.179. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов третьей спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

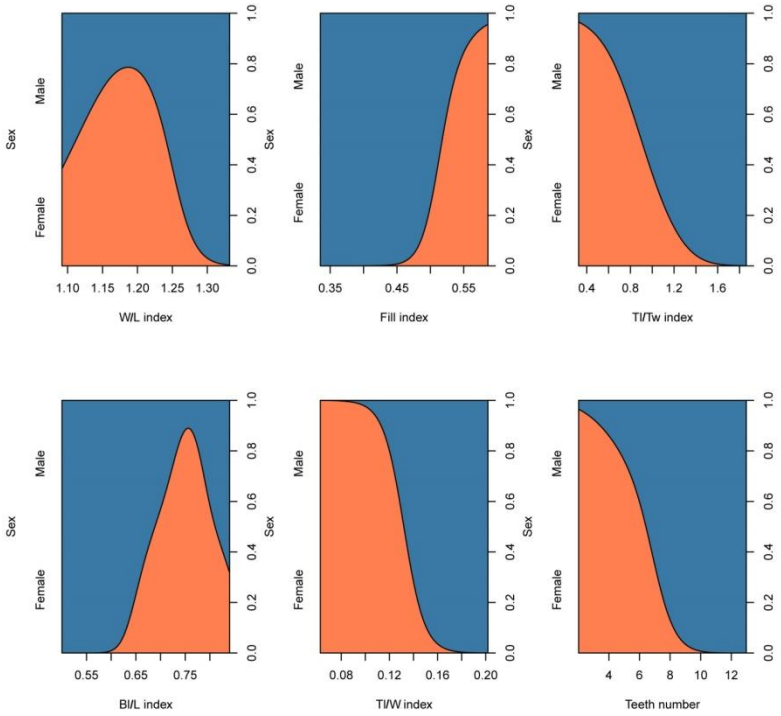


Рис. 5.180. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов четвертой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

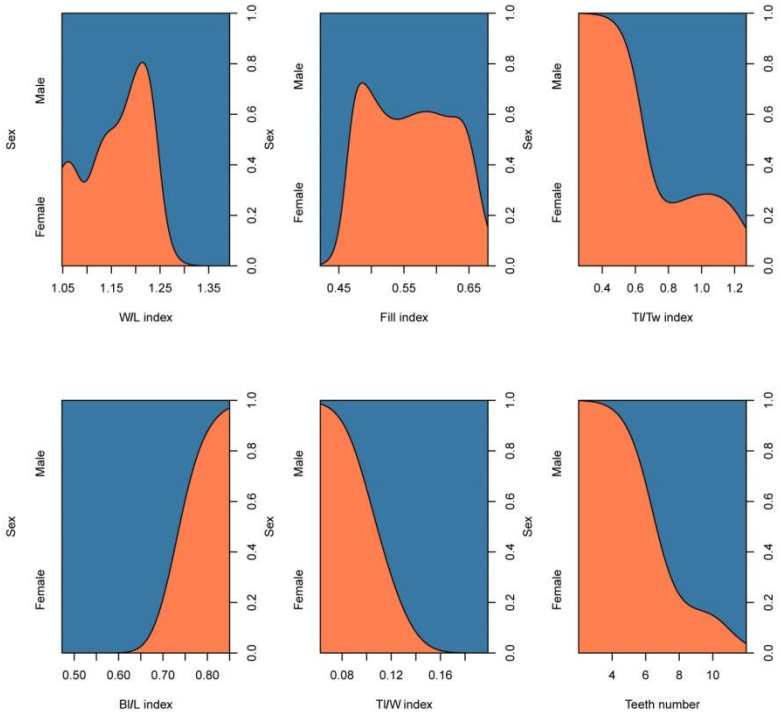


Рис. 5.181. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов пятой спинной жучки мальков стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

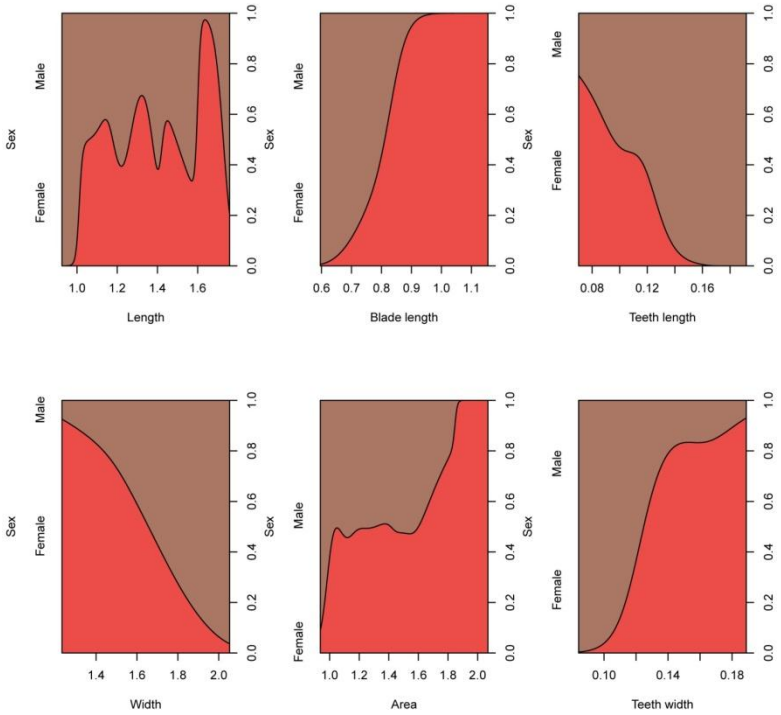


Рис. 5.182. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров первой спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

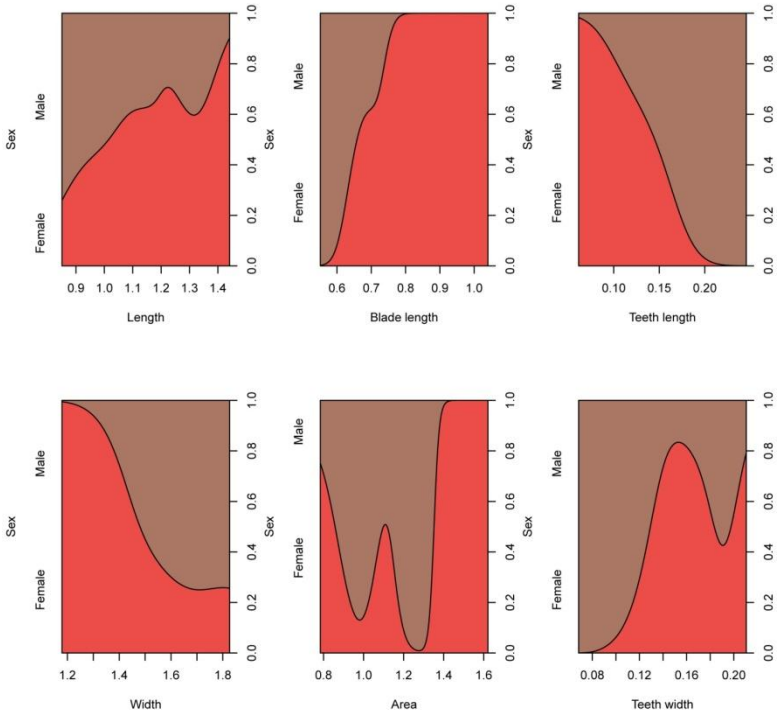


Рис. 5.183. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров второй спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

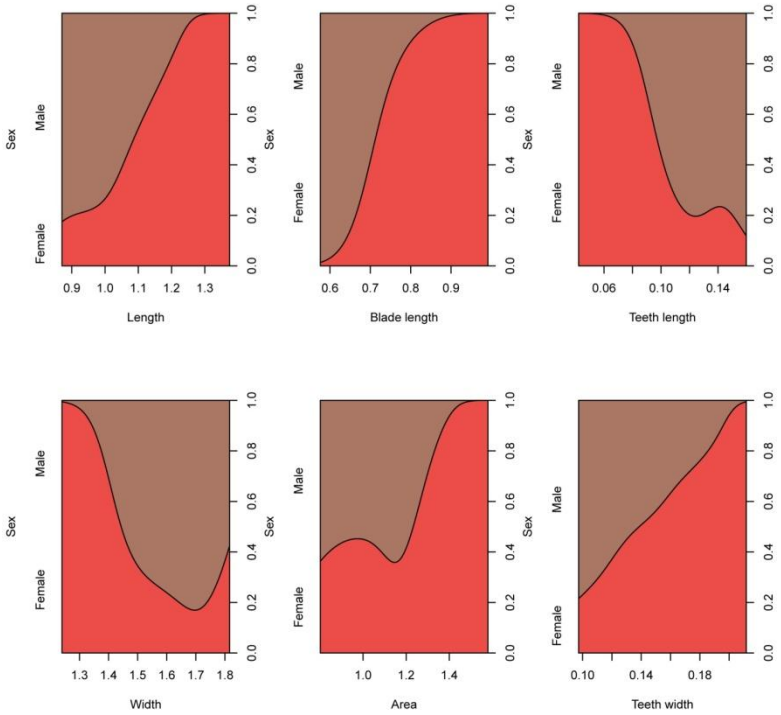


Рис. 5.184. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров третьей спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

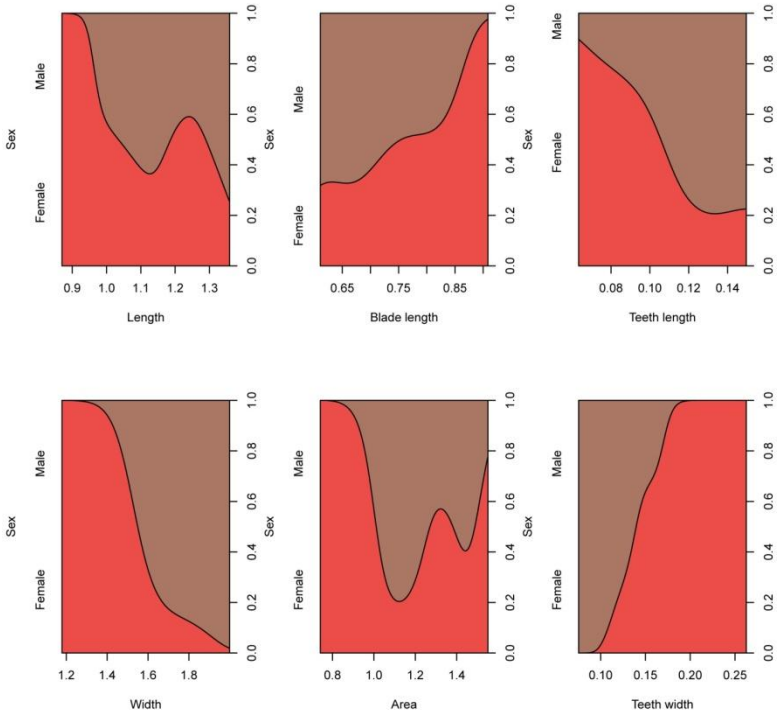


Рис. 5.185. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров четвертной спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

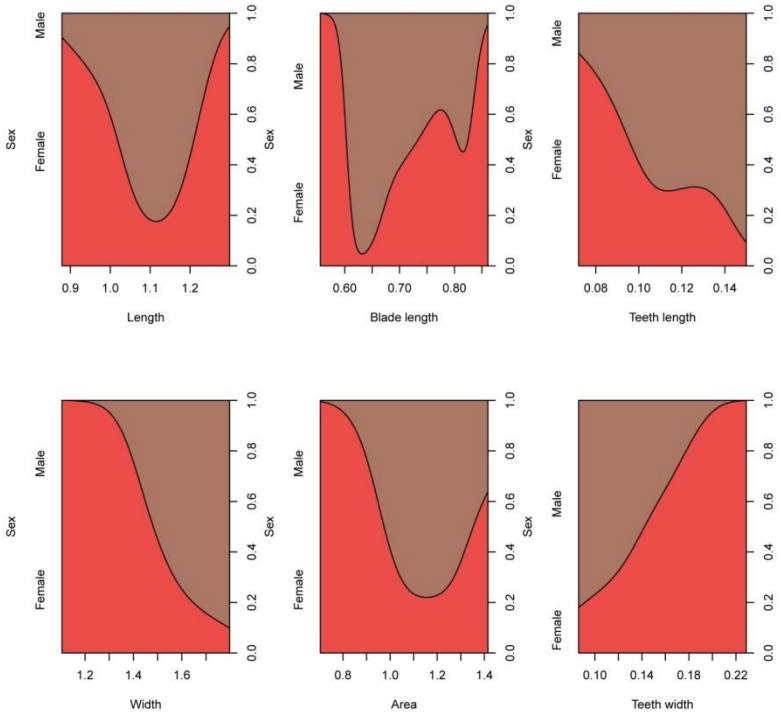


Рис. 5.186. Плотность вероятности зависимости морфологических параметров пятой спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: length – длина жучки; width – ширина жучки; blade length – длина лопасти жучки; area – площадь жучки; teeth length – длина зубца; teeth width – ширина зубца; sex – пол; female – самка; male – самец

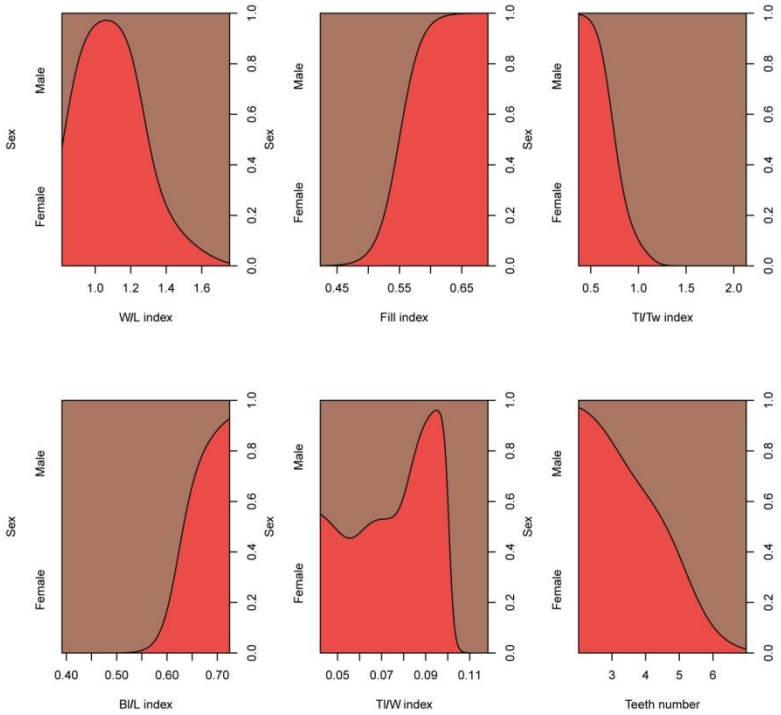


Рис. 5.187. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов первой спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

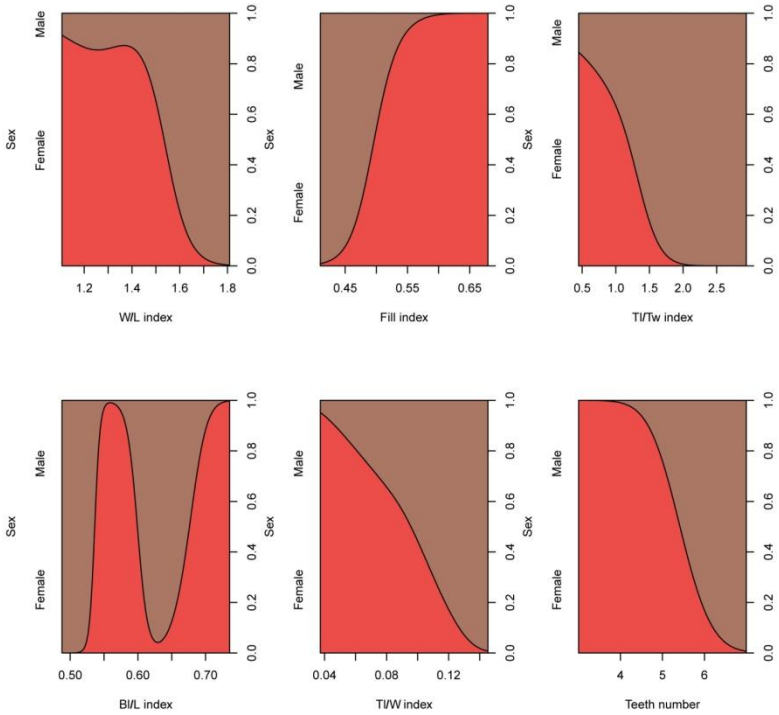


Рис. 5.188. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов второй спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

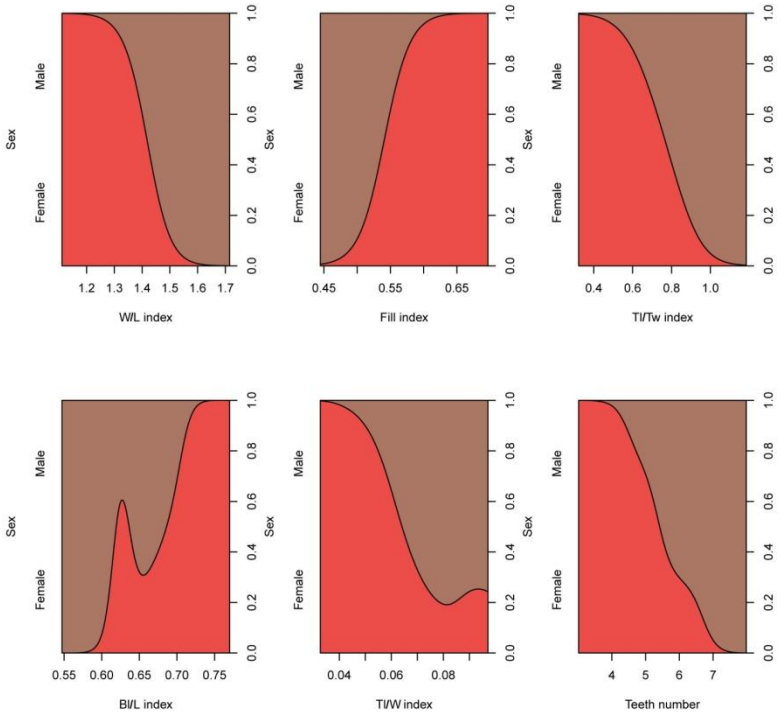


Рис. 5.189. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов третьей спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

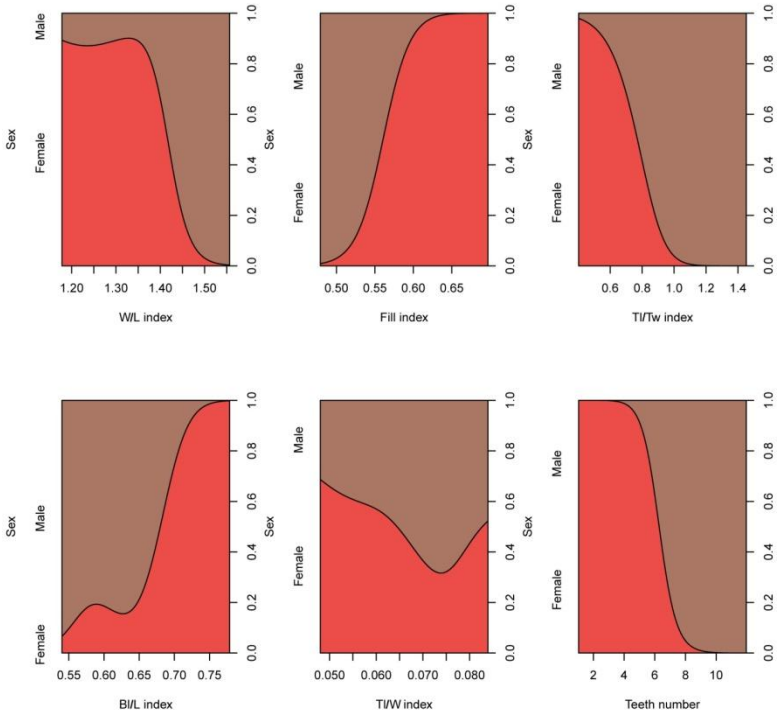


Рис. 5.190. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов четвертой спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения: teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

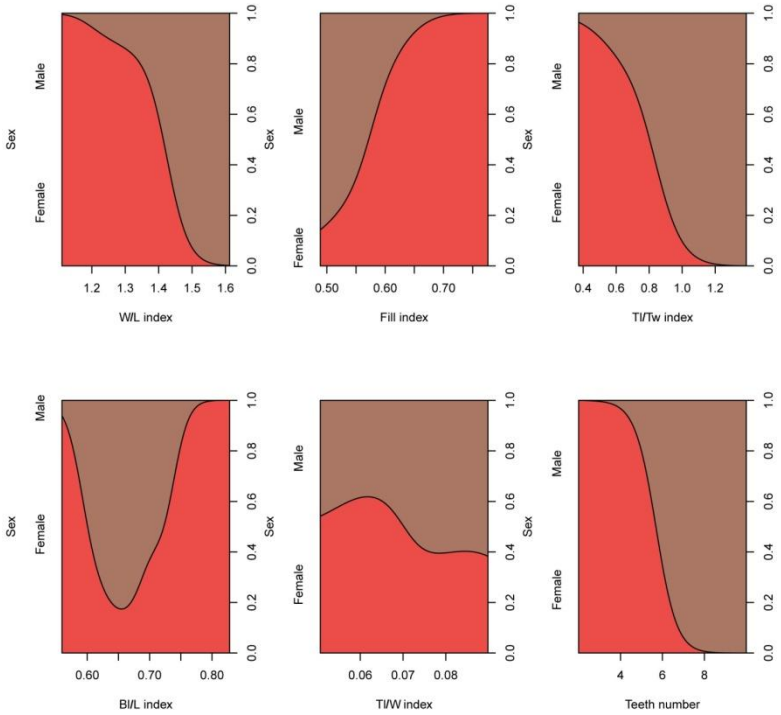


Рис. 5.191. Плотность вероятности зависимости морфологических коэффициентов пятой спинной жучки личинок стерляди от пола. Условные обозначения:
teeth number – количество зубцов жучки; W/L index – коэффициент Ш/Д;
Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения;
Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз;
sex – пол; female – самка; male – самец

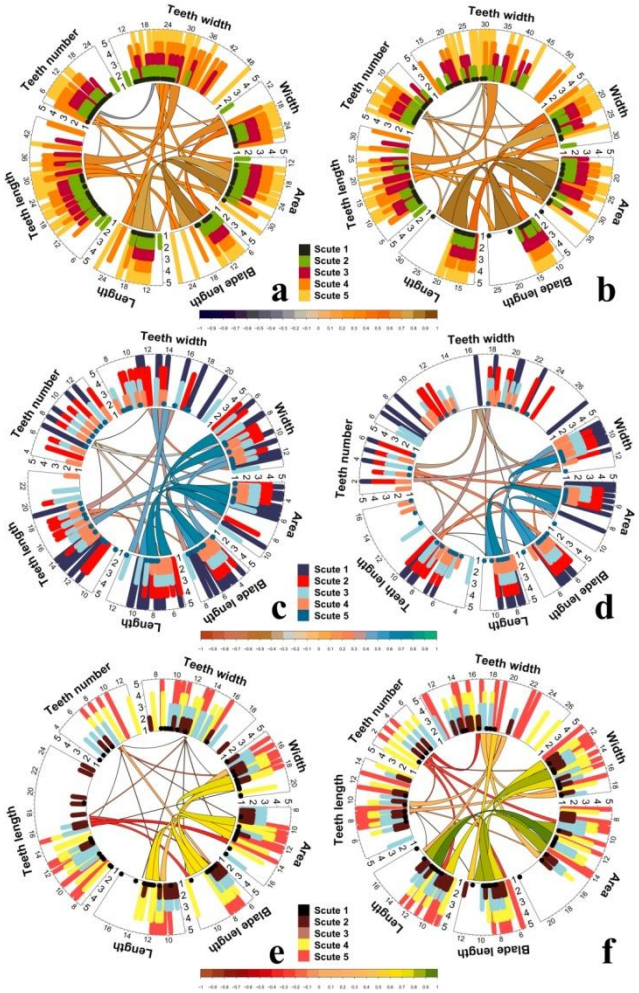


Рис. 5.192. Круговое представление корреляционной зависимости между всеми морфологическими параметрами самцов (*a*, *c*, *e*) и самок (*b*, *d*, *f*) стерляди. Наружный круг показывает различия между всеми морфологическими параметрами (ось *x*) от первой до пятой жучки (ось *y*) взрослых (*a*, *b*), молоди (*c*, *d*) и личинок (*e*, *f*) стерляди. Внутрий круг показывает корреляционную связь между всеми морфологическими параметрами. Цвет и толщина линии зависят от силы корреляционной связи

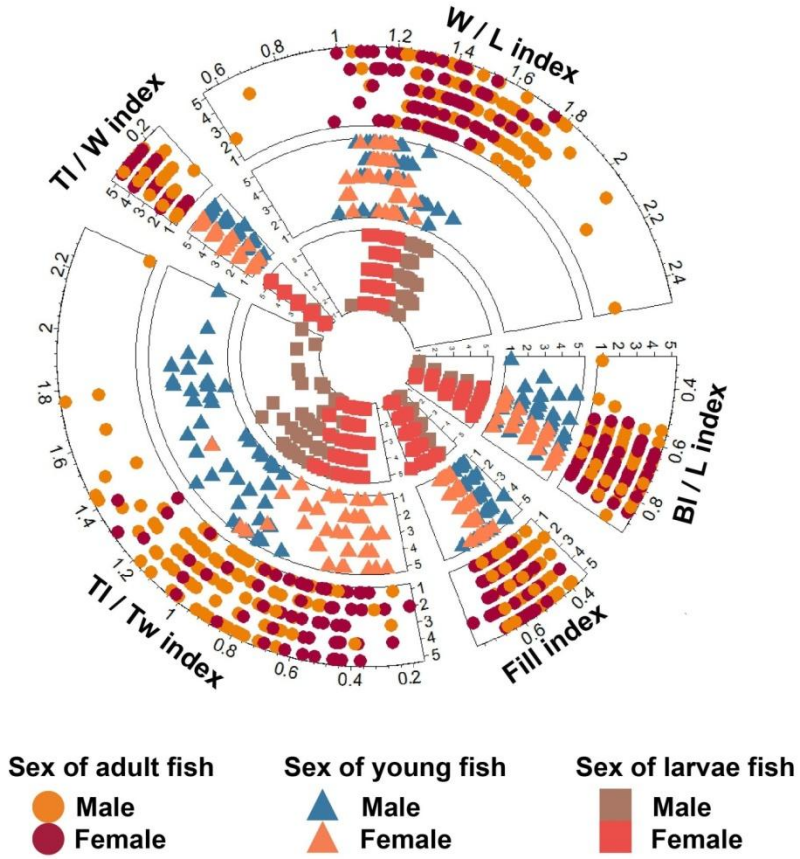


Рис. 5.193. Круговое представление различий между всеми морфологическими коэффициентами (ось *x*) от первой до пятой жучки (ось *y*) взрослых (наружный круг), молоди (средний круг) и личинок (внутренний круг) стерляди. Внутрий круг показывает корреляционную связь между всеми морфологическими параметрами. Цвет и толщина линии зависят от силы корреляционной связи. Условные обозначения: W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

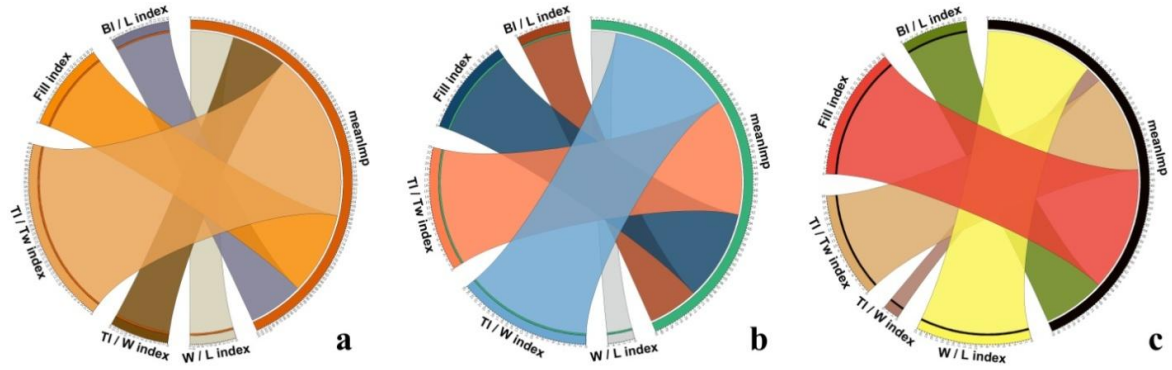


Рис. 5.194. Визуализация селекции значимых морфологических коэффициентов с использованием алгоритма Boruta для создания модели определения пола взрослой (*a*), молоди (*b*) и личинок (*c*) стерляди. Толщина линии зависит от силы корреляционной связи. Условные обозначения: W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; meanlmp – среднее значение значимости

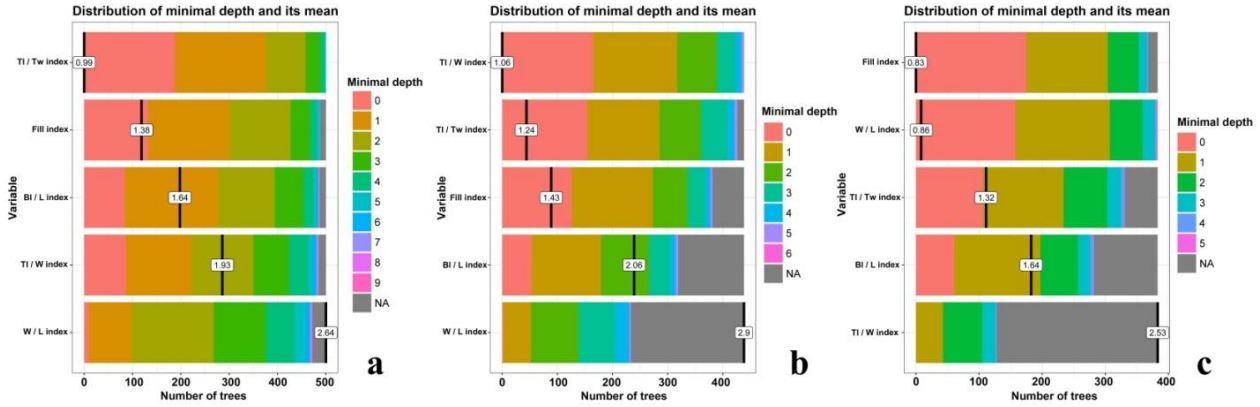


Рис. 5.195. Визуализация селекции значимых морфологических коэффициентов с использованием метода Random Forrest для создания модели определения пола взрослой (*a*), молоди (*b*) и личинок (*c*) стерляди. Условные обозначения: W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index – коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз

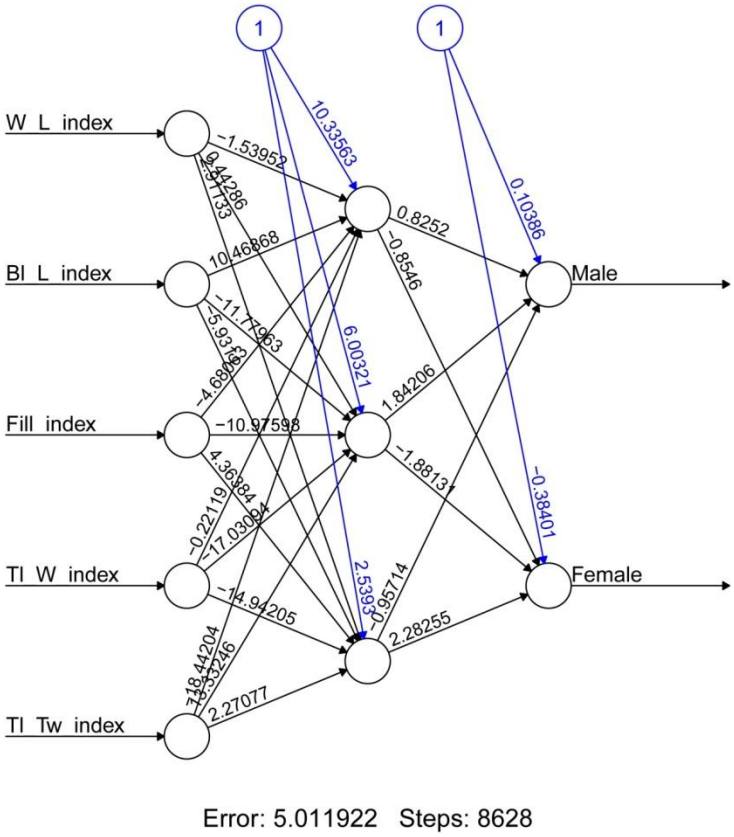


Рис. 5.196. Пример схемы нейронных сетей для селекции значимых морфологических коэффициентов. Условные обозначения: W/L index – коэффициент Ш/Д; Bl/L index –коэффициент Дл/Д; fill index – коэффициент заполнения; Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; sex – пол; female – самка; male – самец

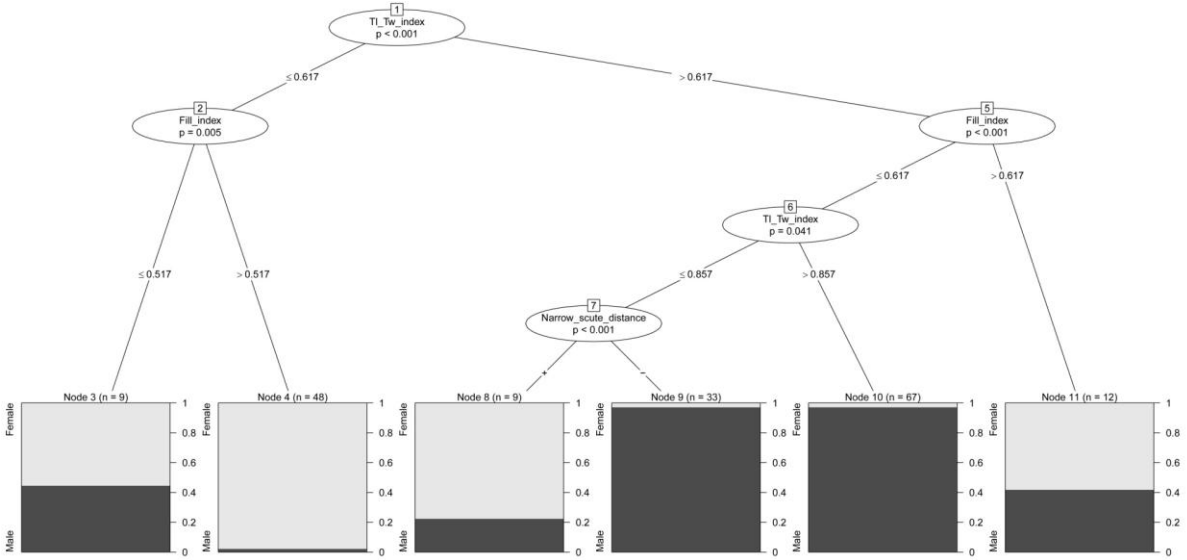


Рис. 5.197. Модель дерева решений для идентификации пола взрослой стерляди.
Условные обозначения: fill index – коэффициент заполнения; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз;
narrow scute distance – узкопосаженность жучек; female – самка; male – самец

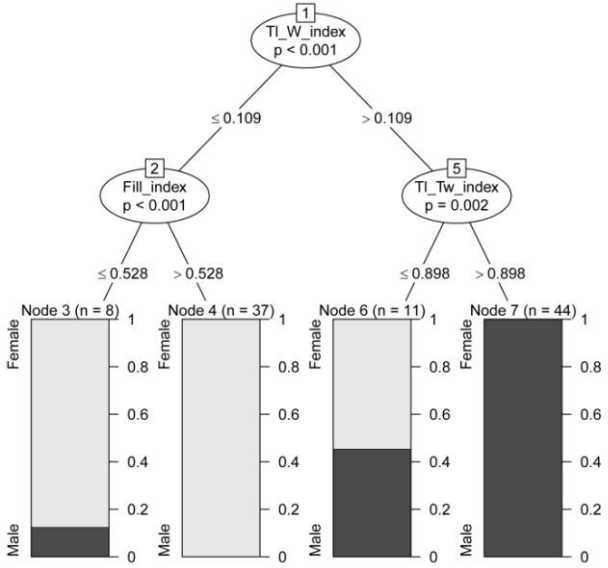


Рис. 5.198. Модель дерева решений для идентификации пола молоди стерляди.
Условные обозначения: Tl/W index – коэффициент Дз/Ш; fill index – коэффициент заполнения;
Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз; female – самка; male – самец

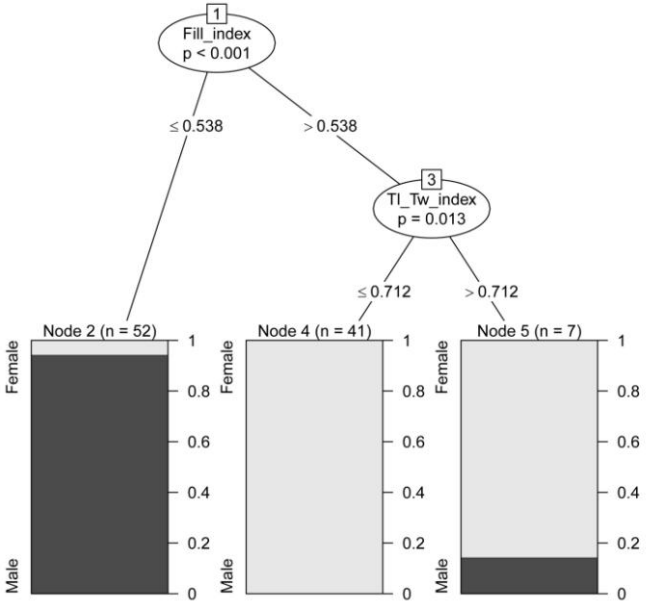


Рис. 5.199. Модель дерева решений для идентификации пола личинок стерляди.
Условные обозначения: fill index – коэффициент заполнения; Tl/Tw index – коэффициент Дз/Шз;
female – самка; male – самец

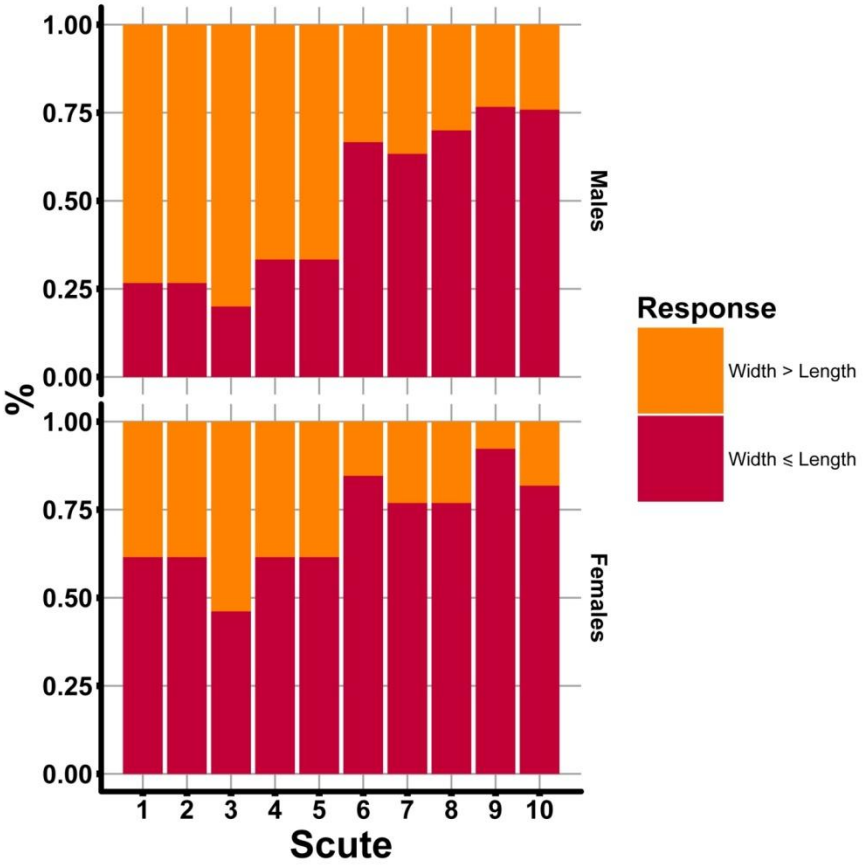


Рис. 5.200. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 по соотношению ширины (width) и длины (length) первых 10 спинных жучек

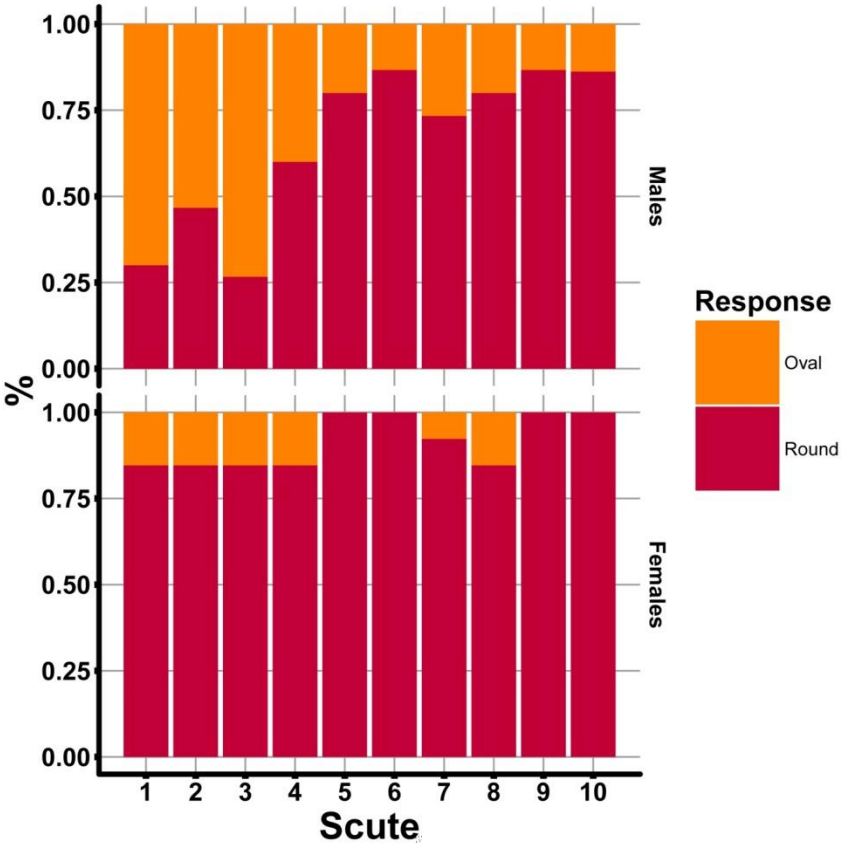


Рис. 5.201. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 по овальной (oval) и округлой (round) форме первых 10 спинных жучек

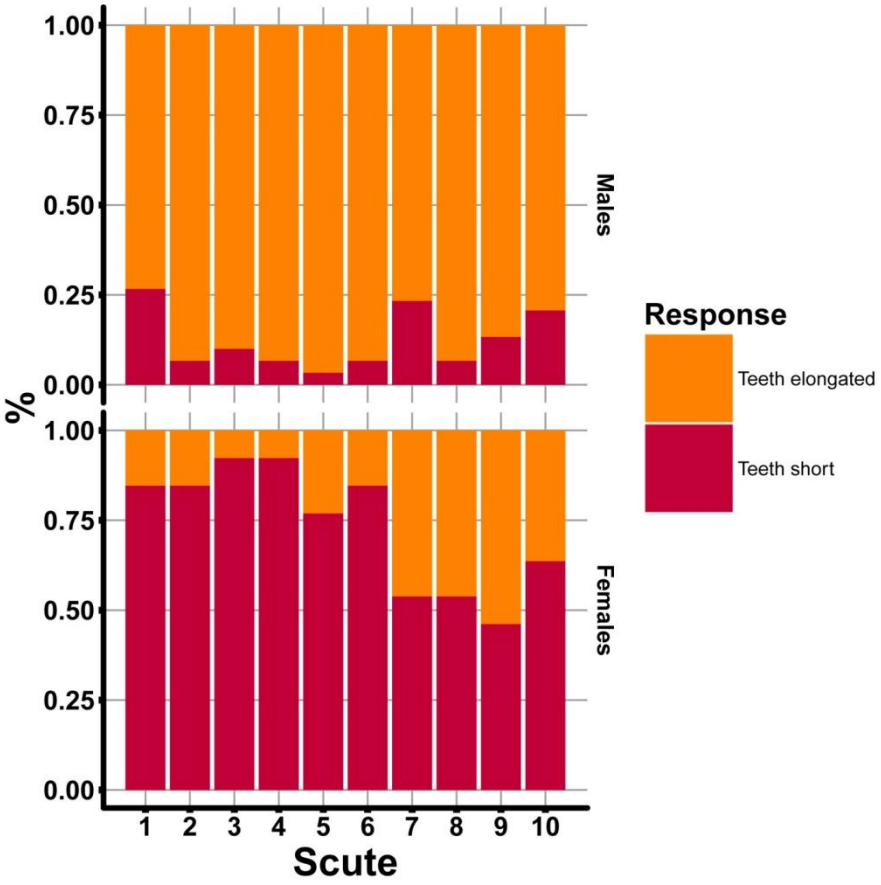


Рис. 5.202. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 по удлиненной (teeth elongated) и укороченной (teeth short) форме зубца первых 10 спинных жучек

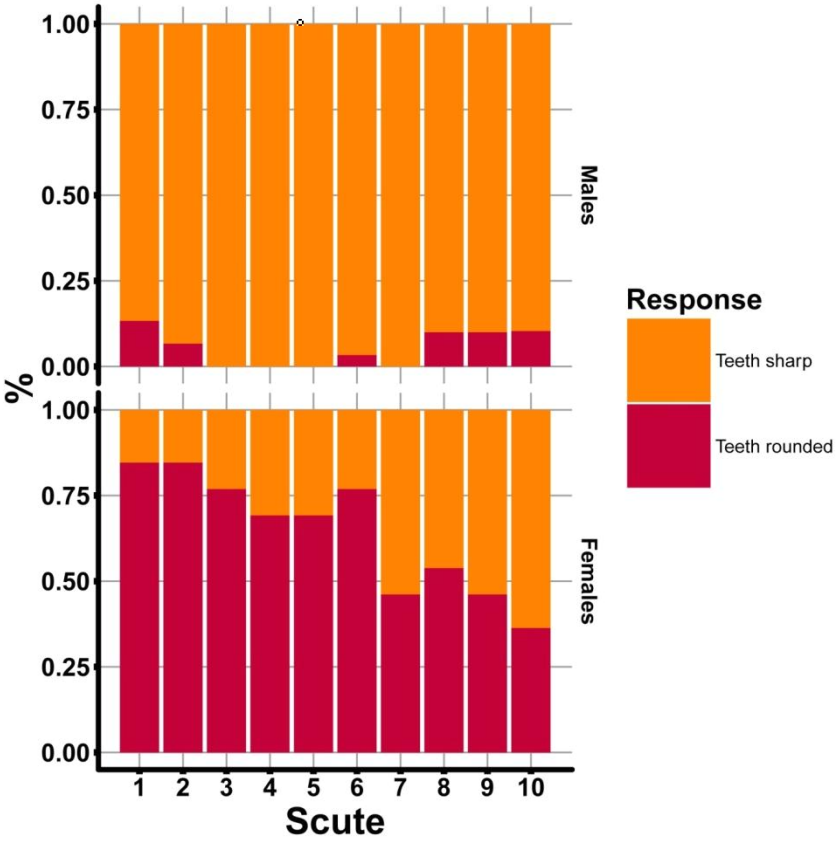


Рис. 5.203. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 по заостренной (teeth sharp) и округленной (teeth rounded) форме зубца первых 10 спинных жучек

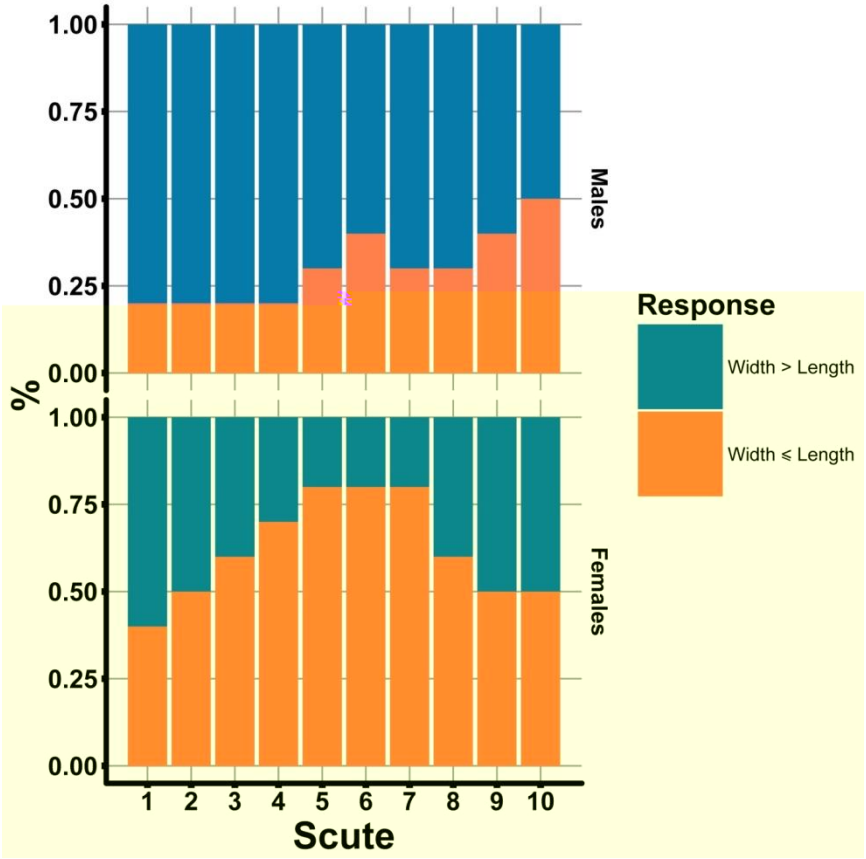


Рис. 5.204. Результаты визуальной диагностики пола молоди стерляди с использованием критерия χ^2 по соотношению ширины (width) и длины (length) первых 10 спинных жучек

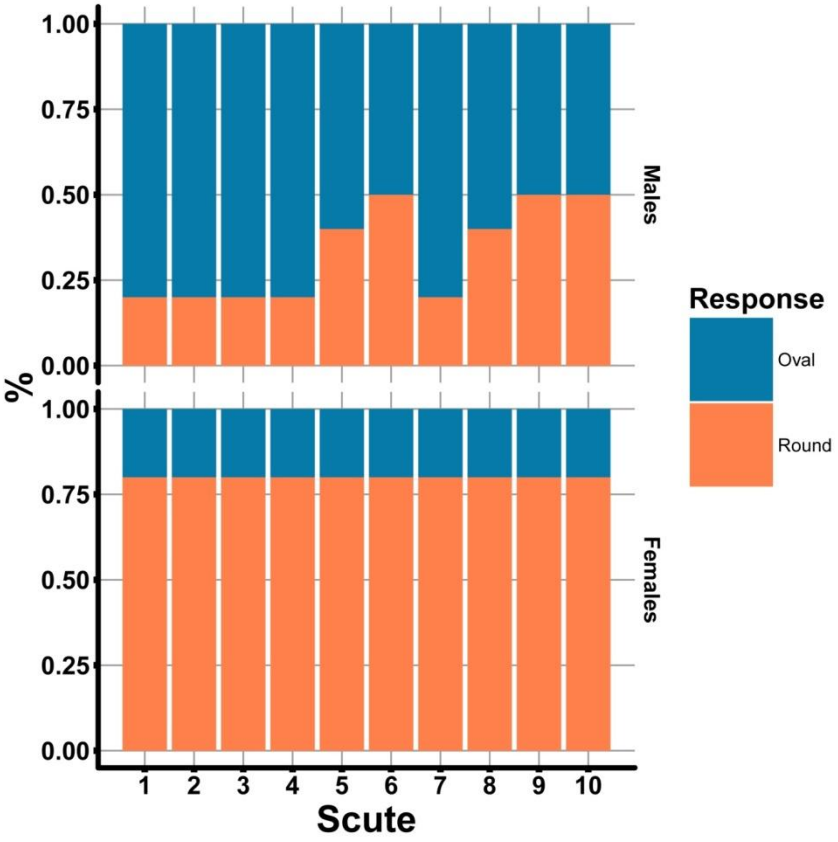


Рис. 5.205. Результаты визуальной диагностики пола молоди стерляди с использованием критерия χ^2 по овальной (oval) и округлой (round) форме первых 10 спинных жучек

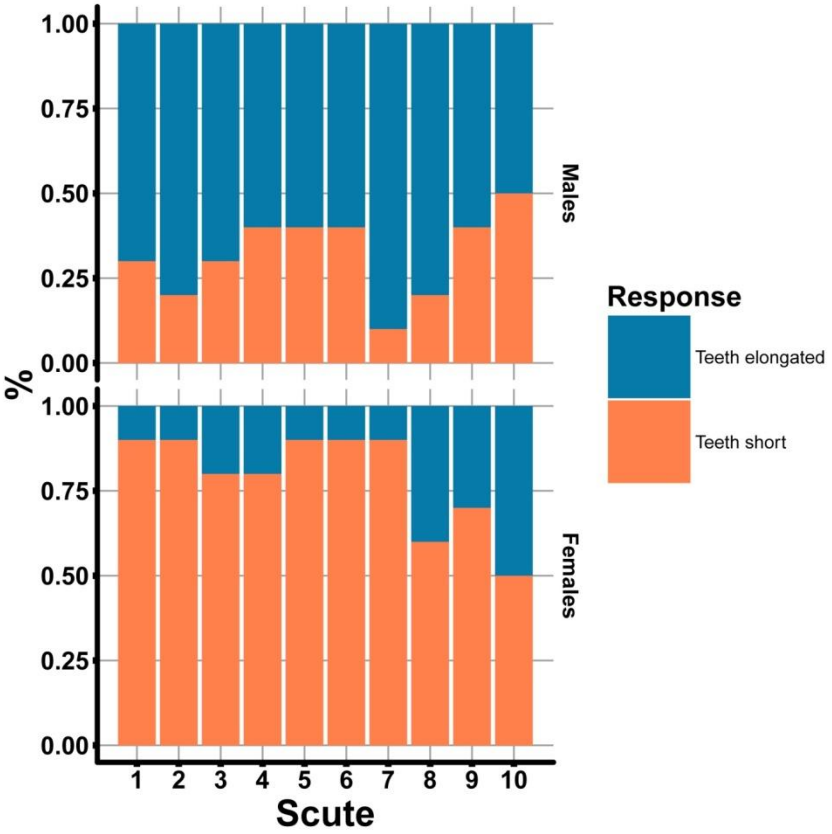


Рис. 5.206. Результаты визуальной диагностики пола молоди стерляди с использованием критерия χ^2 по удлиненной (teeth elongated) и укороченной (teeth short) форме зубца первых 10 спинных жучек

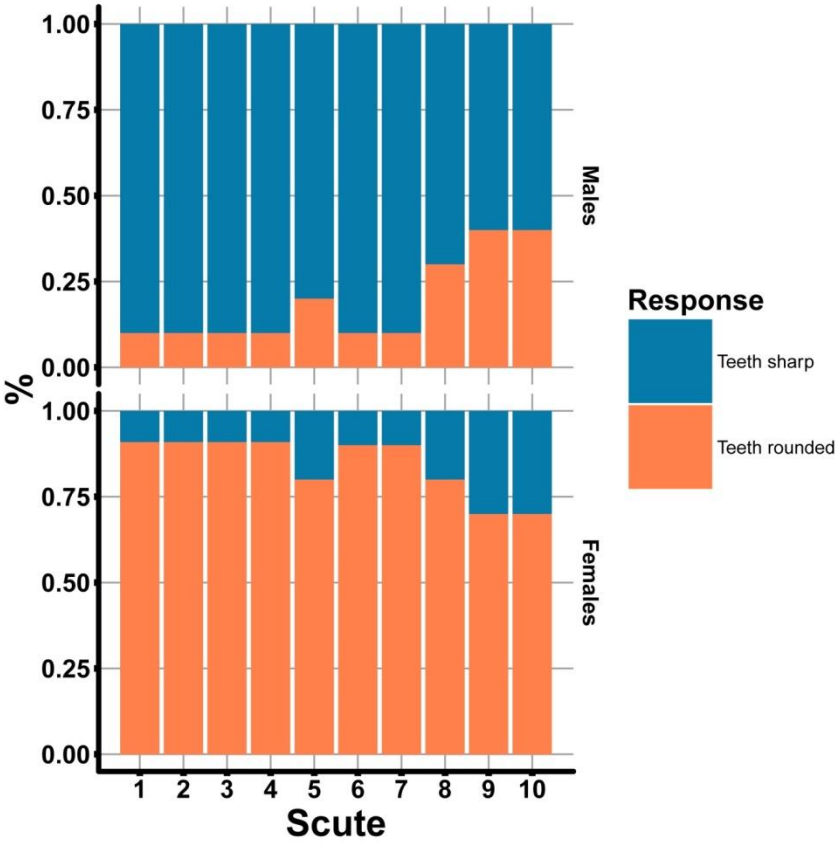


Рис. 5.207. Результаты визуальной диагностики пола молоди стерляди с использованием критерия χ^2 по заостренной (teeth sharp) и округленной (teeth rounded) форме зубца первых 10 спинных жучек

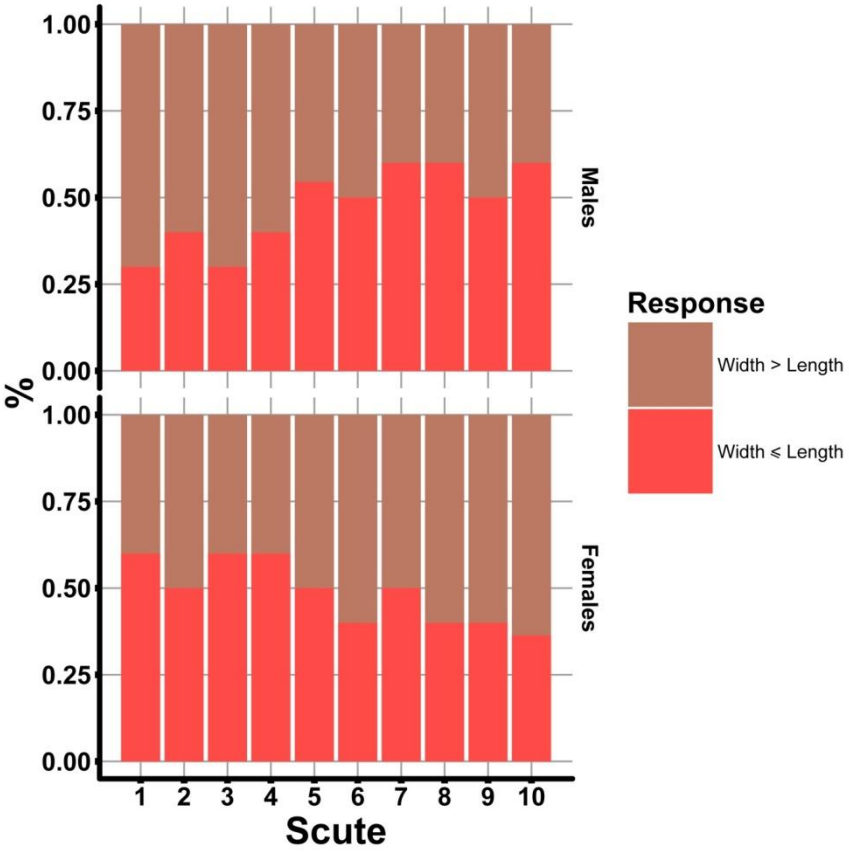


Рис. 5.208. Результаты визуальной диагностики пола личинок стерляди с использованием критерия χ^2 по соотношению ширины (width) и длины (length) первых 10 спинных жучек

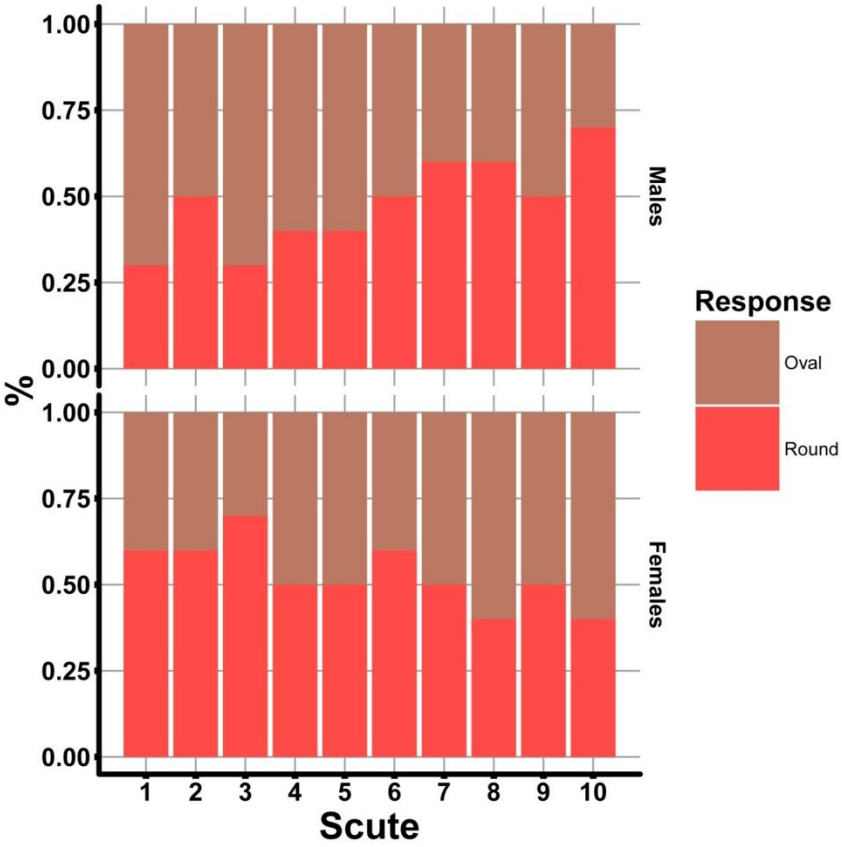


Рис. 5.209. Результаты визуальной диагностики пола личинок стерляди с использованием критерия χ^2 по овальной (oval) и округлой (round) форме первых 10 спинных жучек

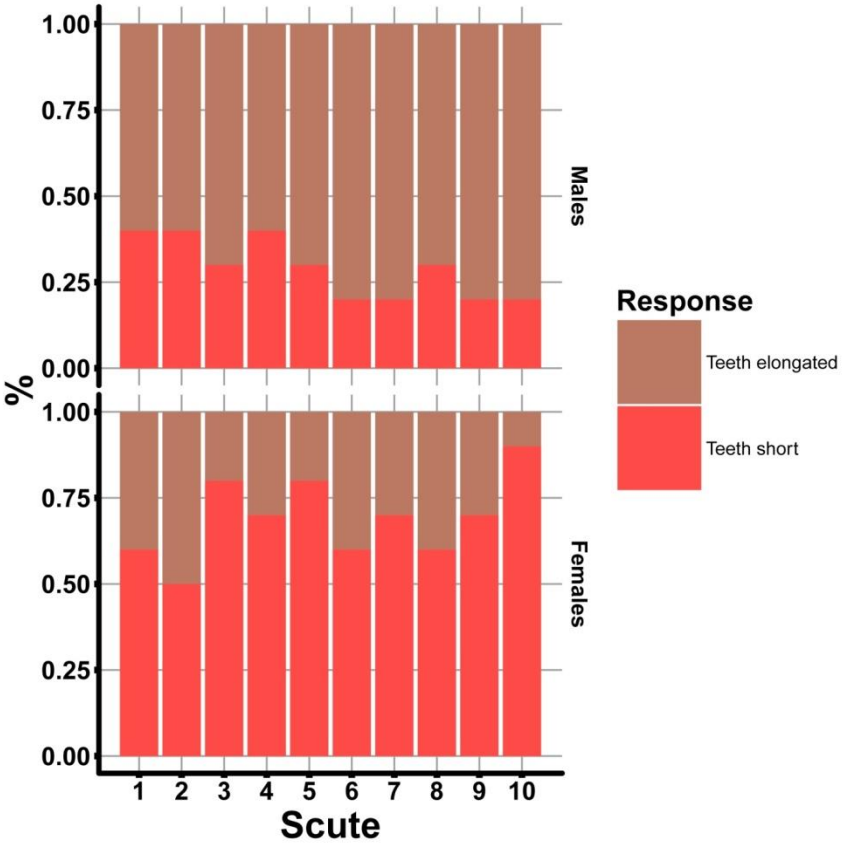


Рис. 5.210. Результаты визуальной диагностики пола личинок стерляди с использованием критерия χ^2 по удлиненной (teeth elongated) и укороченной (teeth short) форме зубца первых 10 спинных жучек

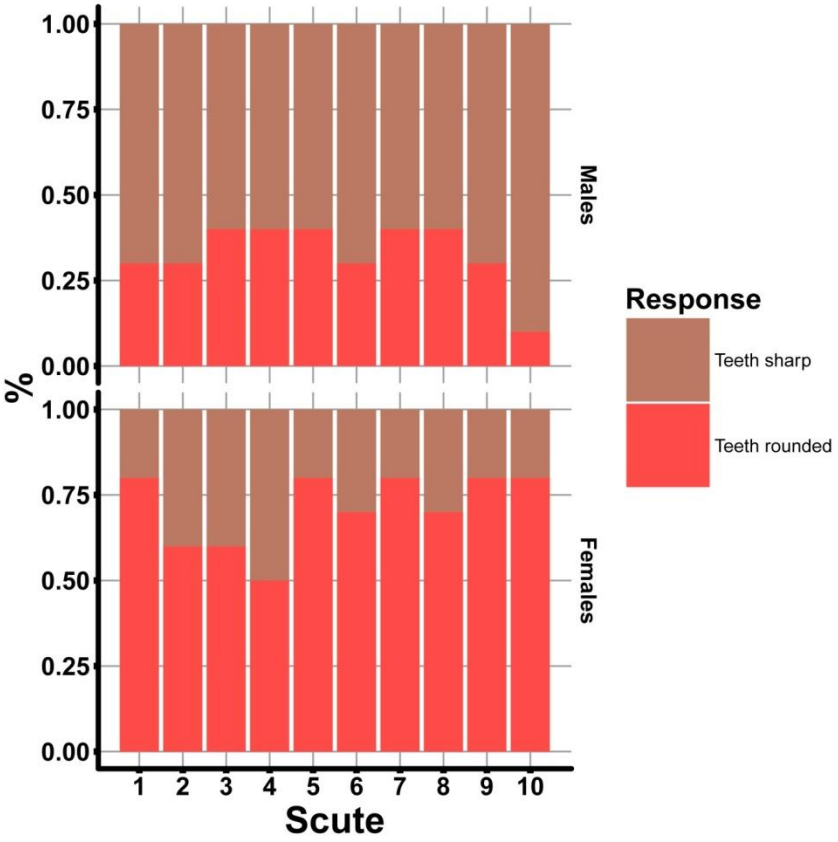


Рис. 5.211. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 по заостренной (teeth sharp) и округленной (teeth rounded) форме зубца первых 10 спинных жучек

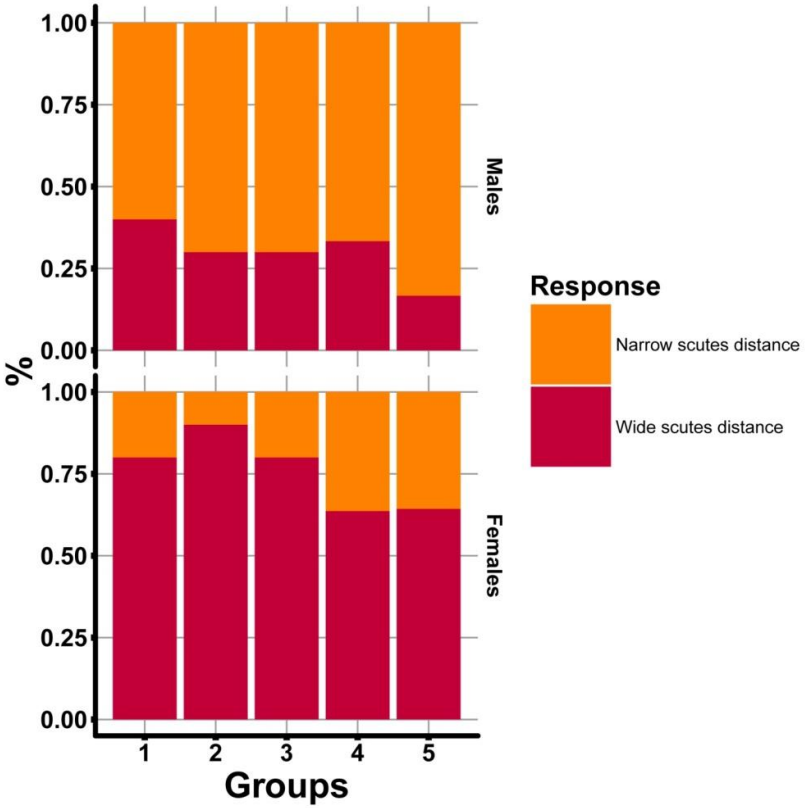
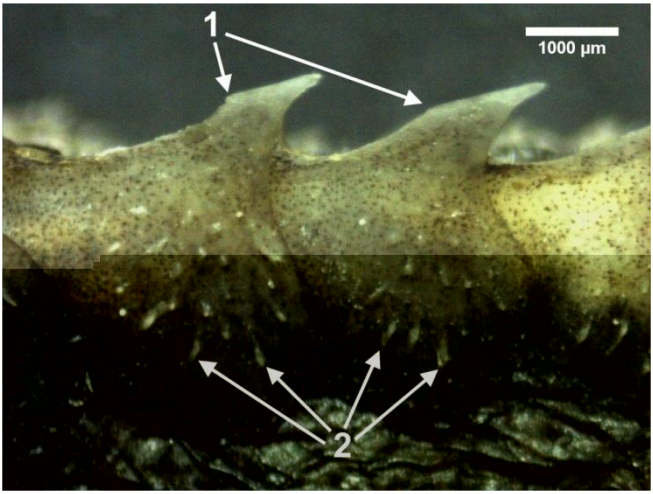


Рис. 5.212. Результаты визуальной диагностики пола взрослой стерляди с использованием критерия χ^2 на наличие или отсутствие узкопосаженности первых пяти спинных жучек



a

b

Рис. 5.213. Личиночные спинные жучки будущих самцов (*a*) имеют искривление в верхней части жучки (*1*) и достоверно большее количество мелких поверхностных зубцов (*2*), чем у будущих самок (*b*)

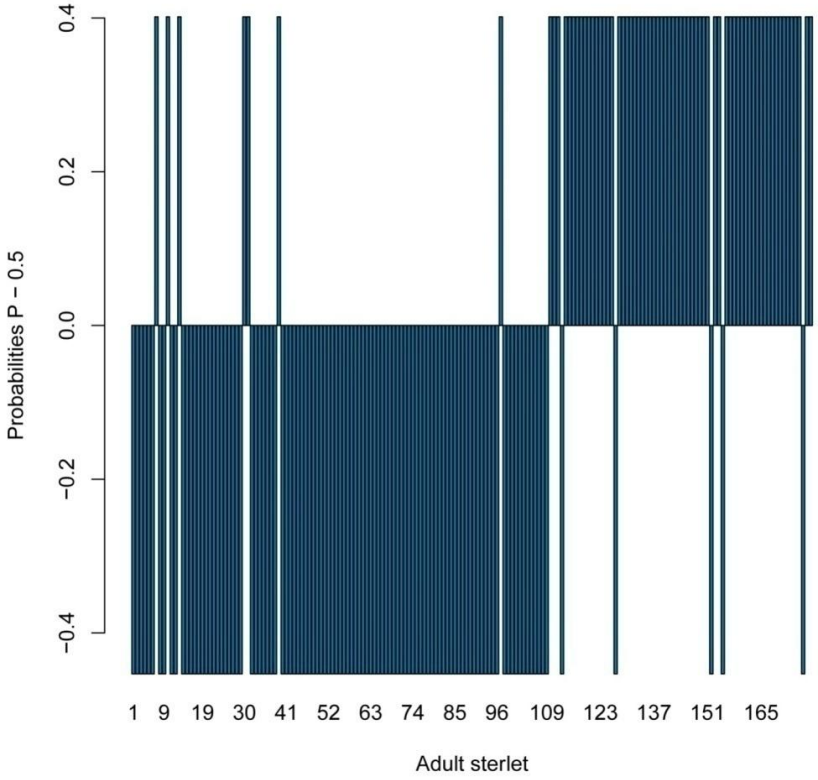


Рис. 5.214. Результаты прогнозной оценки разработанной математической модели определения пола взрослой стерляди с использованием метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения. Ошибка модели – 7 %

.

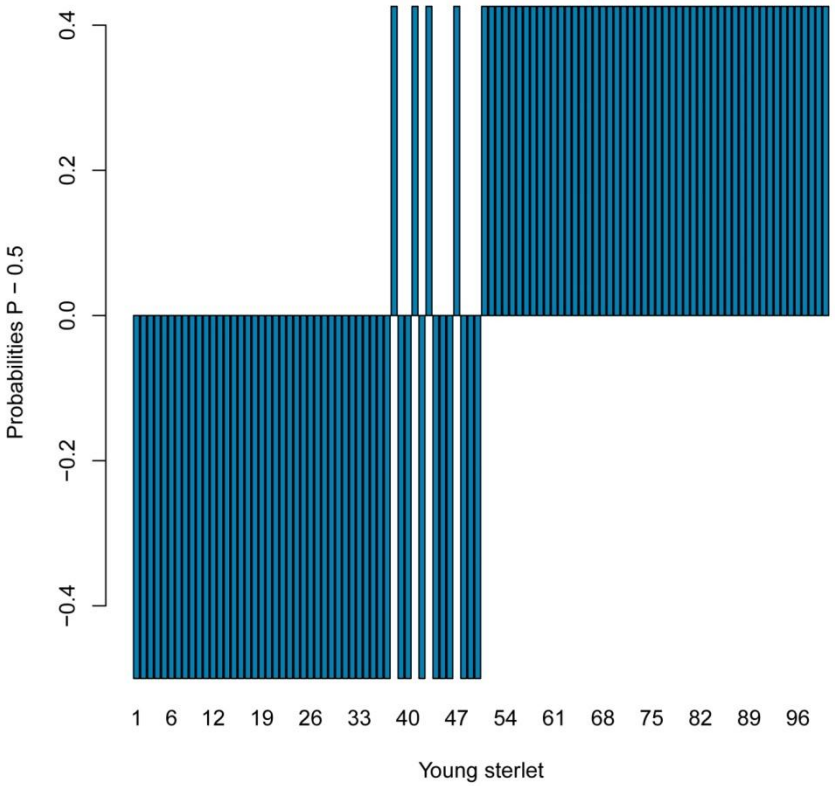


Рис. 5.215. Результаты прогнозной оценки разработанной математической модели определения пола мальков стерляди с использованием метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения. Ошибка модели – 4 %

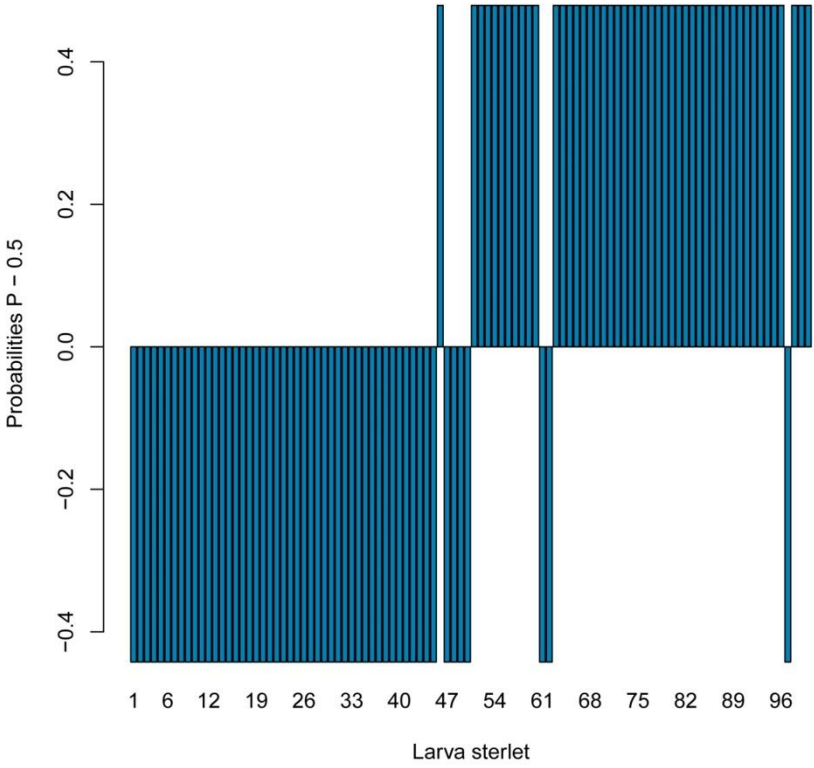
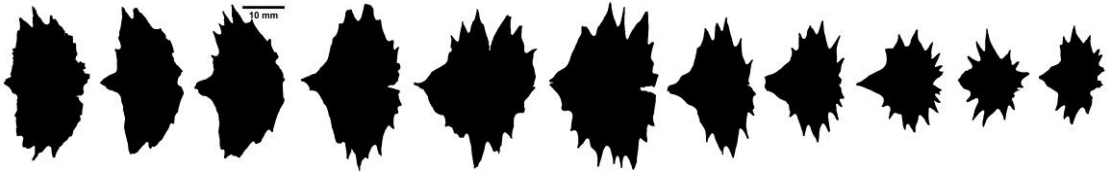


Рис. 5.216. Результаты прогнозной оценки разработанной математической модели определения пола личинок стерляди с использованием метода построения деревьев на основе рекурсивного разбиения. Ошибка модели – 4 %

a



b

Рис. 5.217. Примеры контуров типичных спинных жучек самца (*a*) и самки (*b*) взрослого сибирского осетра

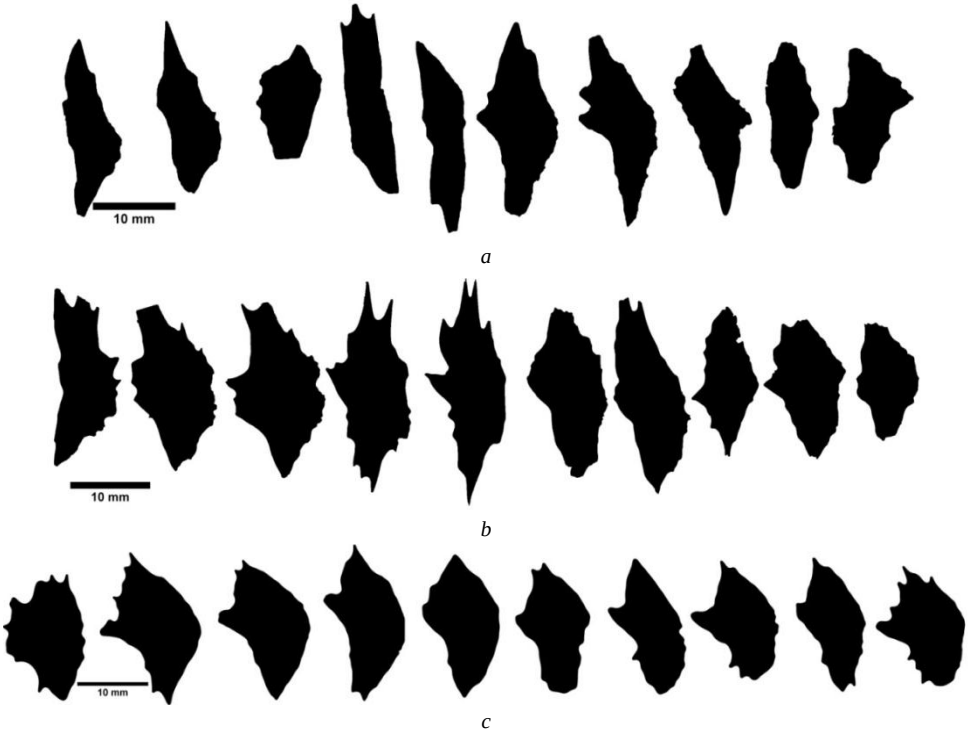
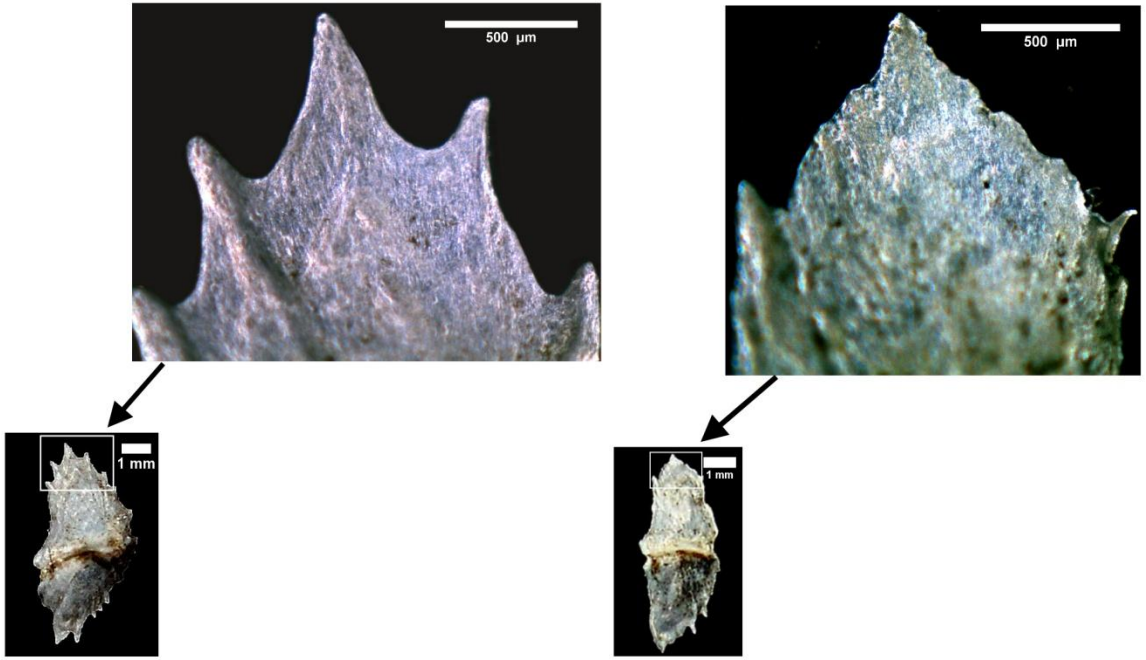


Рис. 5.218. Примеры контуров типичных боковых жучек самца (*a*, *b*) и самки (*c*) взрослого сибирского осетра



a *b*

Рис. 5.219. Личиночные боковые жучки будущих самцов (*a*) и самок (*b*) сибирского осетра

a *b*

Рис. 5.220. Личиночные брюшные жучки будущих самцов (*a*) и самок (*b*) сибирского осетра

6. ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ В АКВАКУЛЬТУРЕ БЕЛАРУСИ

6.1. Текущее состояние, планы развития и сдерживающие факторы

Интерес Беларуси к концепции датской модели растет. Структура модели является основой для многих новых ферм, которые построены согласно Государственной программе развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 гг. Строящиеся модельные фермы принадлежат к одному типу. Планируется сбор твердых частиц и обработка технологической воды. Пять ферм, которые уже построены и введены в эксплуатацию, имеют некоторые недостатки, которые следует исправить для обеспечения эффективного производства и значительного снижения нагрузки по биогенным веществам. Нами были предложены 2 проекта УЗВ, в которых будет эффективно выращиваться радужная форель в условиях Беларуси.

Захват и удаление твердых частиц является самым важным моментом для хорошей и непрерывной работы рыбоводного индустриального комплекса. Сбор твердых веществ значительно сокращает фосфорные отходы на предприятии и в то же время позволяет перерабатывать фосфор в удобрение.

Главной целью рыбоводных индустриальных комплексов является производство форели с минимальным воздействием на окружающую среду. С помощью технологии рециркуляции производство рыбы может выйти на более экологически эффективный и прибыльный уровень по сравнению с обычным способом выращивания на фермах или в садках.

Дополнительная очистка воды может быть произведена с помощью растительных отстойников или в водно-болотных угодьях.

Грунтовые воды должны быть основным источником воды для рыбоводных индустриальных комплексов, использующих технологии рециркуляции. Температуру можно регулировать, снижая высокие температуры и повышая низкие. Контролировать заболевания станет легче. Использовать грунтовые воды в рыбном хозяйстве можно без разрешения.

Качество грунтовых вод зависит от региона. В 70 % скважин было обнаружено содержание железа 0,3 мг/л, что считается предельным

Финляндии. Рыба должна быть выпотрошена, обрезана и очищена. Она должна упаковываться в изолированные коробки, покрытые льдом, в таком случае транспорные услуги будут дешевле при расчете на килограмм продукции, чем при перевозке живой рыбы. Рыбоводные организации должны быть оснащены помещением с моечным оборудованием, машиной по производству льда, оборудованием для упаковки в изолированные коробки и холодильной камерой, соответствующим санитарным правилам.

6.2. Предпосылки для развития образцовых хозяйств датского типа

Актом № 130 от 8 февраля 2012 г. в Дании было изменено законодательство, регулирующее строительство датских образцовых хозяйств.

Основным различием между действующим и предыдущим законодательствами является то, что можно будет регулировать производительность хозяйств на основе контроля выбросов, а не на основе максимального годового объема корма, как раньше.

SWOT-анализ демонстрирует (табл. 6.1) преимущества и недостатки для рыбовода и окружающей среды при организации хозяйства в соответствии с концепцией образцового рыбоводческого хозяйства. Необходимо отметить, что сравнение основано на предположении, что образцовое хозяйство выбрано вместо рыбоводческого хозяйства открытого проточного типа.

Если принято решение использовать растительные лагуны для очистки сточных вод, необходимо учитывать следующие критерии, взятые из датского законодательства, о ведении рыбоводческого хозяйства из акта № 130 от 8 февраля 2012 г.:

речная лагуна должна быть построена как русло реки;

гидравлическая нагрузка не должна превышать 0,021 л/с/м^2 лагуны;

глубина лагун должна быть максимум 0,9 м, поверхность лагуны должна быть 40 м^2/т корма в год;

время задержки воды в растительной лагуне должно быть более 36 часов.

В зависимости от структуры и производства должны быть определены размеры главного дизель-генератора.

Таблица 6.1. **Преимущества и недостатки для проточной воды и рыбного хозяйства при сниженном потреблении воды на ферме, в том числе частичном или полном удалении плотин и дамб с водотоков**

Водоток	Рыбное хозяйство
Преимущества: Свободный проток воды вверх или вниз по течению и естественные изменения в потоке воды в водоеме при содействии байпасов. Отсутствие или снижение эффектов запруживания. Свободный проход фауны. Снижение количества выделяемых питательных и органических веществ на килограмм произведенной рыбы. Снижение количества лекарственных и терапевтических средств и снижение их максимальной концентрации. Улучшение кислородных условий ниже по течению от рыбного хозяйства. Снижение проходов фауны из водотоков в рыбное хозяйство. **Недостатки:** Отсутствуют	**Преимущества:** Стабильные условия производства. Незначительные изменения в качестве воды. Повышение эффективности очистки воды. Использование воды из скважин, приводящее к уменьшению количества сезонных колебаний температуры. Улучшенный контроль управления и производства. Сокращение риска внешнего заражения патогенными микроорганизмами. Сокращение потребности в медикаментах и терапевтических процедурах. Улучшенная рабочая среда. **Недостатки:** Высокое потребление энергии на 1 кг рыбы. Повышение выделений CO_2. Риск токсичных уровней аммиака и риск ухудшения вкуса рыбы. Повышенная потребность надзора и управления. Повышенная потребность в резервных системах: электричество, кислород, насосы и т. д.

На поддерживаемый проект, связанный с рыбоводческим хозяйством, среднее потребление энергии составляет 1,7 кВт на 1 кг произведенной рыбы, но за счет оптимизации процессов появилась возможность сократить потребление энергии до 1–1,3 кВт на 1 кг произведенной рыбы.

Основным фактором, который снижает потребление энергии, является разделение транспортировки воды и аэрации (дегазации) воды.

Как правило, скважины или артезианские скважины используются в качестве источника водоснабжения для замкнутых систем рыбоводческого хозяйства. Средняя глубина датских скважин составляет примерно 40 м. В Беларуси глубина скважины может достигать 100 м, может быть и более, обеспечивая в некоторых случаях давление воды, достаточное, чтобы добыть ее без откачки. Качество воды соответствует нормам, за исключением концентрации железа, которая может

достигать 3–8 мг/л. В этом случае необходимо построить станции, которые будут очищать воду от железа.

Первоначальное законодательство о датских образцовых рыбоводческих хозяйствах ранее базировалось на технических требованиях, изложенных в табл. 6.2.

Таблица 6.2. **Некоторые из наиболее важных параметров, характеризующих три типа образцовых рыбных ферм**

Тип фермы	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Строительный материал водоема	Почва или бетон	Почва или бетон	Бетон
Рециркуляция воды[1] (минимальная, %)	70	85	95
Водопотребление (максимальное, л/с)	125	60	15
Плотность рыбы (максимальная, кг/м^3)	50	50	50
Время использования воды в производстве (минимальное количество часов)	8,9	12,3	18,5
Максимальное суточное количество корма (кг)	800	800	800
Сбор осадка в бассейнах	Да	Да	Да
Децентрализованное осаждение (например, в осадочных конусах)	Да	Да	Да
Устройства для удаления твердых частиц	Да	Да	Да
Биофильтры	Нет	Да	Да
Биологические пруды (1440 м^2)[2]	Да	Нет	Да

Примечания:

[1](Внутренняя рециркуляция / (Внутренняя рециркуляция + Водозабор)) · 100.

[2]Минимальная продолжительность использования – 9 часов в растительных прудах, и максимальная гидравлическая нагрузка – 1 л на 48 м^2 растительного пруда; средняя глубина – 0,7–0,9 м.

Большинство образцовых хозяйств в Дании построено по модели 1, но эта структура хозяйства не считается УЗВ-системой. Акт № 130 от 8 февраля 2012 г. вызвал интерес к структуре хозяйств со значительно увеличенной рециркуляцией, чем достигнутый уровень в структуре хозяйства по модели 1. Поэтому в настоящее время почти все перестроенные хозяйства в Дании выполнены по модели 3.

Основным различием между хозяйствами модели 1 и модели 3 является степень рециркуляции, которая значительно выше в модели 3 по сравнению с моделью 1; из-за этого в хозяйствах модели 3 есть требования к биологическому фильтру, чего нет в случае модели 1.

Все хозяйства, участвующие в проекте, поддерживаемом обществом (8 хозяйств), принадлежат к модели 3.

Следует отметить, что некоторые хозяйства модели 3 сокращают использование пресной воды; некоторые хозяйства сократили ее использование до 7,5–10 л/с/100 т (600–900 л на 1 кг рыбы).

В связи с тем что за последнее десятилетие в Дании не появилось ни одного хозяйства модели 2, а акт № 130 от 8 февраля 2012 г. привлек интерес к модели с более высоким уровнем рециркуляции, хозяйства моделей 1 и 2 в дальнейшем в настоящей главе рассматриваться не будут.

Система земледелия в основном должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить оптимальное качество воды для конкретных видов рыб, подлежащих разведению на объекте.

Оптимальные параметры качества воды отличаются в зависимости от вида рыбы. Например, для лососевых нужна оптимальная температура около 15 °С, а осетровым необходимо обычно выше 20 ºС. Также следует учитывать другие различия к требованиям оптимального качества воды для каждого вида.

Оптимальное качество воды для лососевых зависит от температуры воды, pH и уровня кислорода. Диапазон приемлемых характеристик воды для разведения лососевых: температура воды – ниже 20 ºС, pH – между 6,5–7,5, циркуляция уровня кислорода – выше 70 %.

6.3. Описание стандартной образцовой форелевой датской системы

Система основана на комплексе, состоящем из 15 параллельно соединенных бассейнов с размерами 14×2,5×1,2–1,35 м в соответствии с объемом каждого бассейна примерно в 45 м^3.

Конструкция снабжена возможностью механического удаления частиц через барабанный фильтр с покрытием около 40 мкм. Вода с осадком из барабанного фильтра попадает в илоуплотнитель, состоящий из трех иловых конусов, эти конусы должны регулярно опорожняться.

После барабанного фильтра вода попадает к движущимся биофильтрам с общим объемом приблизительно 155 м^3 при 60%-ном заполнении биозагрузки. Полный объем биозагрузки равен примерно 92 м^3, что соответствует поверхности, равной приблизительно 67,160 м^2. Согласно датскому законодательству, эта площадь поверхности соответствует 168 т годового использования кормов.

После того как вода вышла из биофильтра, она попадает в центральную зону аэрации, предназначенную для стабилизации общего давления газа в системе и в то же время для сохранения уровня насыщения кислородом около 85 % всего потока воды.

После зоны аэрации вода прокачивается либо через две платформы насыщения кислородом, либо первичным насосом в канал подачи для распределения между 15 бассейнами.

Переработка ила повлечет за собой расходы на установку системы контроля и управления.

В Беларуси построены или строятся оба типа хозяйств параллельных бассейнов и серийных бассейнов.

В последние годы в Дании наблюдается растущий интерес к конструкциям с меньшим параллельным соединением бассейнов. Такая конструкция является гораздо более гибкой и безопасной по сравнению с серийными бассейнами. Но инвестиционные затраты в любом случае гораздо выше.

Чтобы производственная система стала более гибкой, появилась тенденция движения в сторону системы, основанной на строительстве круглых или параллельных бассейнов. С параллельными бассейнами проще работать, они более безопасны, в то же время они очень подходят для условий Беларуси.

При предложенном варианте дизайна, основанном на параллельных бассейнах, необходимая площадь участка составит приблизительно 2 500 $м^2$, на данном земельном участке можно разбивать лагуны и строить дороги.

Самая используемая система водоочистки больше всего подходит для использования в грунтовых водах, но также может быть построена для использования воды непосредственно из реки.

В большинстве мест (где рыбное хозяйство является новым видом деятельности и основные предпосылки отсутствуют) необходимо учитывать влияние очистки и упаковки рыбы до конечных инвестиционных затрат. Для развития рынка свежей рыбы нужно подготавливать продукцию для такого рынка. Рыбу нужно выпотрошить, обрезать и очистить. Она должна упаковываться в изолированные коробки, покрытые льдом, в таком случае транспортные затраты будут меньше, чем при транспортировке живой рыбы. Также в магазинах дешевле обработка и проще установить холодовую цепь между фермой и потребителем. Это все инвестиции в предварительную обработку (забой и подготовка рыбы). Завод должен

быть оснащен гигиеническими поверхностями и моечным оборудованием, машиной по производству льда. Необходимо помещение для изолированных боксов и охлажденная камера для хранения, по крайней мере, на один день производства. Минимальный размер рабочего пространства составляет 60 м^2, этого должно быть достаточно при дневном объеме обработки минимум 3 т рыбы. Холодильные камеры на 6 поддонов – это 10 м^2, а хранилище без отопления для пенопластовых коробок занимает около 25 м^2. Также

jZaZ m_ebqb\ dhebq_kl\h fh^me_c Wlh\ lZd`_ h[
gmx jZ[hlm hl^_eZ ZxsaZkybfij_^\Zjbl_evghc u h[jZ[hldh
[u aZ[hc b h[jZ[hldZ Ijhba\h^kl\h l \ ]h^ khhl\
g_^_ex qlh ih^jZamf_\Z_l _`_^g_\guc m[hc hdheh
H[uqgu_ dhgkljmdpbb lZdb_ dZd ojZgbebsZ gm`
kZfh]h gZqZeZ jZdbf qlh[u hgb g_ kihkh[kl\h\Zeb
r_fm jZkrbj_gbx Lh `_ kZfh_ dZkZ_lky hjdZ hgbaZpbb
jb n_jfu H[jZ[hldZ beZ b ^hjh]b d h[jZ[hlZ hgguf ieh
]h gZqZeZ ieZgbjmxlky fbgbfZevgufb
Bg_klbpbhggu_ aZljZlu g_ kjZ\gbbZqukfbgd h^m jZ
kljmdpbyfb ihlhfm qlh ijhba\h^kl\h ijhbkoh^bl \ h
h[t_f_Z hqbkldZ \h^u h^bgZdh\Z b aZ\bkbl hl _`_^g_
gby ?^bgkl_gghc i_j_f_gghc y\ey_lky klhbfhklv kl
kl_fu b m_ebqb\ZxsZyky iehlghklv aZkb\Zysjzy hl k
a_j\mZjh\ Djm]eu_ beb d\Z^jZlgu_ [Zkk_cgZ fh]ml
ihlhdZ G_^hklZldhf]em[hdh]h [Zkk_cgZ y\eyxlky
h[kem`b\Zgbb ju[u _keb mkljhckl\h kebrdhf [hevrh
ebq_kl\Z ju[u dhlhjh_ b^_l gZ m[hc_eb q_gb_ h^gh
Ih^kq_lu b hp_gdZ \ha^_ckl\by hdjm`Zxs_c kj_^
ijhba_^_gu ihke_ ml_j`^_gby kljmdlmju ohayckl\Z
h[t_fZ ijhba\h^kl\Z
Hloh^u h[jZaph\h]h ohayckl\Z koh^gu k hloh^Zfb
ohayckl\Z b \ hkgh\ghf khklhyl _s_kjZgbqkkdb nh
nhjZ
< ijb_^_gghc jZg_ ijZ^e 6.2 klZ\e_gh kjZ\g_gb_ ljZ^bp
gh]h ^Zlkdh]h ohayckl\Z b ohayckl\Z fh^_eb
H`b^Z_fh_ kgb`_gb_ hloh^h\ l_kgh k\yaZgh k hq
\h^ < lZ[e 6.3 mdZaZgu ijhp_glgu_ ^Zggu_ h[hZqbs_gb
lZ nhknhjZ b hj]Zgbq_kdbo _s_kl\ ;ID ^ey \hkv
hlke_`b\Z_fuo lbih\ ohayckl\ fh^_eb adZdhju_ hd
l_evgh \ur_ q_f ij_^iheZ]Zehkv

LZ[ebpZ **Процентные данные об очищении вод от азота, фосфора и органических веществ (БПК) для восьми интенсивно отслеживаемых типов хозяйств модели 3**

H[s__ dhebq_kl	H[s__ dhebq_kl	;ID
50 %	76 %	93 %

Ijbf_qZgbKj_^gbc ijhp_gl hqbkldb \h^u \ bkke_^m j_fuo lbiZo
]Zgbah\Zgguo ih fh^_eb

Скорость удаления фосфора и БПК высока, а улучшение показателей их удаления (каждое улучшение в процентах) очень дорого, и его сложно достичь. Основное улучшение темпов сокращения содержания фосфора и БПК должно достигаться путем управления очисткой сточных вод, а не за счет реализации дальнейших технологий.

Для азота ситуация иная. Несколько датских проектов в настоящее время ищут возможности использования ила, произведенного в рыбоводческом хозяйстве, в качестве источника углерода путем переработки некоторого объема ила в летучие жирные кислоты, а также использования летучих жирных кислот как «топлива» для денитрификации фильтра.

Этот процесс хорошо известен и широко используется в системе традиционной очистки сточных вод.

Однако при использовании ила в гидролизе некоторые летучие жирные кислоты используются при денитрификации фильтра, поэтому существуют возможности увеличения процента сокращения содержания азота.

Влияние на окружающую среду посредством сбросов химических веществ, не поддающихся биохимическому разложению, должно рассматриваться как минимальное.

Выбросы от образцовых рыбных хозяйств можно рассматривать как полностью разлагающиеся микроорганизмы. Воздействие на экосистемы, в которые осуществляется сброс, прекращается сразу же после завершения сброса.

Риск загрязнения воды сведен к минимуму, так как источником воды является скважина. Основной риск в системе рециркуляции – это формирование токсичных соединений, вызванных накоплением ила в системе, другой риск – это то, что уровень кислорода и pH неустойчивы, что может привести к увеличению заболеваемости, в результате чего повышается смертность.

Риски, упомянутые выше, могут быть сведены к минимуму, если правильно проектировать поставки кислорода и воды, а также внедрить процедуры управления и контроля.

Датская концепция образцового рыбоводческого хозяйства предоставляет возможности для создания рабочих мест и экономической деятельности в сельской местности. Потенциал основан прежде всего на грунтовых водных ресурсах, которые доступны в различных районах страны.

Человеческие ресурсы зависят от систем обучения, которые будут обеспечивать навыки менеджмента, биологические и ветеринарные навыки и давать знания о практических методах рабочего процесса.

Также большую важность представляют технические знания о современной вегетационной системе. Объем обучения должнен соизмеряться с планами госпрограммы по увеличению производства так называемых ценных видов.

Если датская концепция берется в качестве основы для этой инициативы, международные возможности образования следует рассматривать в качестве альтернативы для поддержки отечественной системы обучения в Беларуси.

Тренинговые курсы, организованные DTU в Хиртшалс в Дании, – это пример международных образовательных возможностей. Это эффективный способ обновить знания об обрабатывающих технологиях в сфере аквакультуры. Для развития рыбоводства, благоприятного для окружающей среды, в странах Балтийского моря подобные образовательные программы очень важны и во многих отношениях просто необходимы.

Когда в каждой области Беларуси будет полностью достигнут потенциал, это приведет к повышению уровня жизни в целом, предоставив работу для подрядчиков и небольших строительных компаний в регионе.

Увеличение производства поспособствует увеличению рабочих мест непосредственно в рыбных хозяйствах.

Существование рыбной фермы предоставляет возможность бизнеса как для мелкомасштабных семейных предприятий и больших промышленных предприятий, так и для рыбных ферм. Чтобы начать производство, нужно собрать команду образованных людей.

Чтобы инвестировать в рыбоводстве в технологии рыбного хозяйства по датской модели в Беларуси, очень важно понимать, что бизнес находится на начальном этапе развития.

Развитие бизнеса в настоящее время зависит от государственного планирования. Это оказывает влияние на процентные ставки по кредитам, которые могут стать очень высокими (30 %).

Корм для лососевых импортируется, он будет соответствовать общему уровню. В настоящий момент цена на корм в Беларуси выше, чем в ЕС.

В течение некоторого времени уже работают несколько УЗВ-хозяйств, но, несмотря на это, новые хозяйства до сих пор чувствуют

себя первопроходцами, используя концепцию образцового хозяйства, сталкиваясь с проблемами в сфере маркетинга продукта.

В настоящее время цены на корма и электроэнергию немного выше или же такие же, как в ЕС. Зарплаты очень низкие, например, по сравнению с северными странами. На практике скорее всего зарплаты увеличатся, если будут работать люди, обученные системе УЗВ.

Когда бизнес растет и рынок развивается, цены на мальков приходится снижать, поскольку мальков на продажу будут выращивать и в соседних странах, таких как Польша, Литва, Латвия, Россия.

Размер производства должен быть достаточно большим, чтобы снизить себестоимость продукции до допустимого уровня. В противном случае форель останется только деликатесом для торжеств и рынок не будет развиваться. Большие закупки принесут пользу при покупке мальков и корма. Численность занятых может быть оптимизирована. Если выращенная рыба перерабатывается, есть возможность добавить продукту ценность. Иначе материал для переработки будет либо приобретаться за рубежом, либо импортироваться в виде готового продукта.

Инвестиционные затраты без субсидий так высоки, как 1 евро за 1 кг рыбы, которая частично зависит от изолированного покрытия в системе каналов. С другой стороны, покрытие позволяет обеспечить развитие в зимний период. Инфляция настолько высока, что сложно определить объем всех инвестиций таким образом, чтобы цены в течение строительства не росли.

Образцовое хозяйство будет иметь правильный размер, если семейный бизнес запускается образованным человеком и он готов заботиться о всей продукции самостоятельно или силами членов семьи.

Согласно информации, полученной в ходе наших визитов, себестоимость форели в 2012 г., например, в Богушевском хозяйстве составила 45–50 тыс. бел. руб., примерно 4 евро/кг.

Из-за высоких инвестиций и стоимости энергии, вероятнее всего, себестоимость производства в хозяйствах по типу модели 3 будет расти. Но даже использование консервативного подхода к бюджету показывает относительно высокий уровень накладных расходов при производстве 100 т форели в год – это 0,19 евро/кг рыбы. Когда достигается уровень производства 150 т рыбы в год, накладные расходы составят 0,59 евро на 1 кг выращенной рыбы.

Применение технологии образцового хозяйства в Беларуси приведет к росту размера хозяйств, что увеличит накладные расходы на 1 кг произведенной рыбы.

В ходе нашего посещения белорусских хозяйств мы обнаружили ряд проблем в различных компонентах хозяйств, поэтому очень важно выработать определенные стандарты разработки проектов хозяйств, которые будут проверены на практике и докажут свою эффективность. Существующие комплексы также должны быть изменены, чтобы соответствовать стандартам.

Применение концепции рыбоводческих хозяйств 3-го модельного типа имеет как преимущества, так и недостатки. Недостатки в основном связаны с более высокой себестоимостью продукта и более высокой степенью риска сбоев в работе оборудования, заболеваний и т. д., но риск можно свести к минимуму, установив генератор с автоматическим запуском или путем организации надлежащего ухода за рыбой.

Главным преимуществом внедрения технологии станет запущенный процесс. По опыту известно, что внедрение этого процесса займет около 2–3 лет, только за это время будет раскрыт весь потенциал новой системы.

Без сомнения, Беларусь обладает огромным потенциалом для реализации современных технологий рыбного хозяйства, но в то же время есть вероятность неудачи. Реализация дополнительных требований – это ключ к будущему успеху, одним из таких требований должно стать обеспечение качественной подготовки кадров для новых рыбоводческих хозяйств, работающих с применением новых технологий.

Проектное описание модели 3 рыбоводного хозяйства на основе параллельно соединенных каналов. Данное приложение содержит описание и сравнительный анализ наиболее известного проекта датской канальной модели с использованием конструкции с последовательно соединенными канальными бассейнами и эрлифтами. Данный проект удовлетворяет требованиям датского законодательства.

Конструкция. Система включает в себя 15 параллельно соединенных канальных бассейнов для выращивания рыбы размерами 14×2,5×1,2 м каждый (рис. 6.1–6.14).

Распределение воды осуществляется в открытых каналах для минимизации потерь гидравлического напора в системе.

Система оснащена механическим барабанным фильтром с размерами ячеи в фильтре около 40 мкм. Вода со шламом из барабанного

фильтра поступает к загустителю шлама, содержащего три шламовых конуса. Эти конусы должны регулярно опорожняться.

После барабанного фильтра вода поступает к биологическому фильтру общим объемом около 155 м^3. Загрузка биологического фильтра составляет 60 % от общего объема биофильтра, соответствует удельной активной площади около 67 160 м^2. Данная активная площадь соответствует годовому использованию кормов около 168 т.

После того как вода покидает биофильтр, она поступает в центральную зону аэрации, предназначенную для стабилизации общего давления газа в системе, в то же время сохраняя насыщенность кислородом около 85 %. После зоны аэрации вода распределяется между 15 канальными бассейнами с помощью эрлифта.

Вода и подача кислорода. Для обеспечения рыбы достаточным количеством кислорода при температуре воды 12–13 °С подача кислорода осуществляется посредством первичного насоса и при необходимости платформами с инжектором. Обе платформы с инжектором и первичный насос оснащены преобразователями частоты, так что поток может быть приспособлен к количеству используемого корма и располагаемого запаса.

Максимальный расход для первичного насоса составляет 400 л/с, а максимальный расход через платформы с инжектором – 240 л/с, в результате чего максимальный расход получается 640 л/с с возможным насыщением кислородом порядка 150 %.

Высота подъема первичного насоса составляет около 25–30 см, а для насосов платформ с инжектором высота подъема составляет около 0,9–1,0 м.

Необходимое количество пресной воды для работы системы составляет от 3 до 20 л/с в зависимости от последовательности обработки и температуры воды. В это количество воды входит объем, который составляет около 1 л/с для чистки сетки барабанного фильтра.

В периоды с низкой температурой воды (менее чем 12–13 °С) не будет необходимости в использовании платформ с инжекторами, но они могут быть использованы в пиковой ситуации.

Из соображений возможностей очистки и гибкости каждый биологический фильтр устанавливается в обход, и этот обход будет обеспечивать бесперебойную работу системы во время очистки системы.

Очистка сточных вод. Транспортировка воды от 15 лотковых каналов осуществляется через конический выпускной канал с целью уменьшения потерь гидравлического напора в системе. Вода подается

и отбирается из отдельных каналов, закрытых снизу посредством шлюзовых ворот, для предотвращения осаждения в лотках и каналах.

Из выпускного канала вода подается на барабанный фильтр, который снабжается фильтровальной тканью с отверстиями-ячейками размером примерно 40 мкм. Барабанный фильтр может быть оснащен регулятором уровня, который при заданном уровне воды в барабане запускает в работу насос высокого давления для очистки фильтровальной ткани.

Очищенная вода от насоса высокого давления (около 1 л/с) подается к загустителю шлама, и основная часть воды подается на биофильтр.

Биологические фильтры разработаны как подвижные насыпные фильтры с общим объемом приблизительно 155 $м^3$ на уровне заполнения 60 %. Емкость может быть рассчитана примерно на 168 т корма, т. е. ≈ 460 кг корма в день.

Практический опыт с аналогичной системой показывает, что можно использовать значительно больше корма на ежедневной основе, но это требует высококачественных кормов и надлежащего управления.

Расчет мощности производится при следующих предположениях: 400 $м^2$ активной поверхности фильтра на каждую тонну корма, используемого ежегодно; фильтрующий материал имеет удельную поверхность порядка 730 $м^2/м^3$.

После биологического фильтра вода подается в зону аэрации. В дополнение к дегазации централизованный бассейновый аэратор, как правило, поддерживает уровень CO_2 при 10 мг/л и общее давление газа (TGP) при 100–102 %. В то же время зона аэрации обеспечивает уровень насыщения кислородом около 85 %.

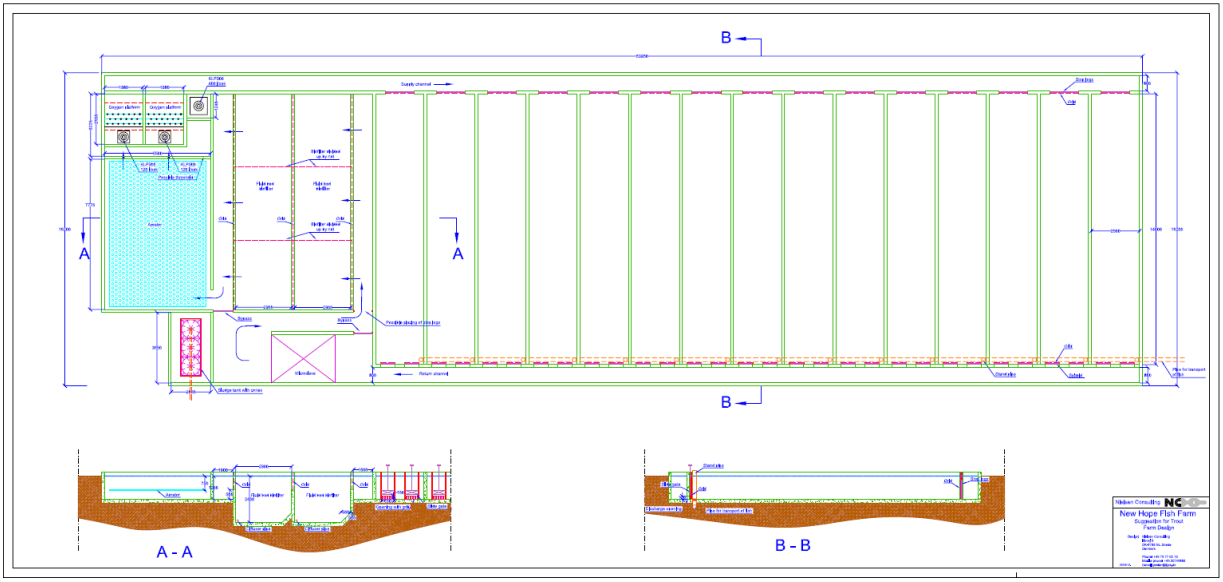


Рис. 6.1. Общая схема УЗВ с параллельно соединенными каналами

Компоненты.

Наименование оборудования	Назначение	Производительность	Энергопотребление
Первичный насос	Первичный насос	400 л/с, высота подъема – 0,3 м	2,6 кВт
Два насоса для инжекторных платформ	Добавление чистого кислорода в воду до 170 % природного насыщения в 640 л/с	120 л/с, каждая высота подъема – 1,0 м	2 по 1,6 кВт, всего 3,2 кВт
Одно микросито	Удаление частиц и паразитов	Объем – 500 л/с, матерчатый фильтр, 40 мкм	4,5 кВт
Одна воздуходувка CAPSEL	Перемещение и окисление подвижного слоя фильтра	Объем – 780 $м^3$ воздуха/ч при 2,5 м глубине	6,9 кВт
Две воздуходувки VENTUR	Для дегазации	Объем – 3000 $м^3$ воздуха/ч при 0,8 м глубине	11 кВт

При оценке потребления энергии предполагается, что одна платформа закачки кислорода используется круглый год вместе с первичным насосом.

Общее максимальное потребление энергии	26,6 кВт
Потребление энергии рассматривается как кВт на килограмм произведенной рыбы. Расчет делается на основе ежедневного использования кормов 460 кг; при норме кормового коэффициента (FCR) порядка 0,91 производство будет составлять 505 кг рыбы в день	1,26 кВт на килограмм произведенной рыбы

Опыт показывает, что потребление энергии будет ниже при нормальных условиях и что потребление энергии менее 1 кВт на килограмм произведенной рыбы является реалистичным.

Характер инвестиционных затрат на установку

Подготовка места строительства (подсчеты основаны на датском уровне цен)	
Виды работ и оборудования	Стоимость, евро
Дренаж	25 000
Землеройно-транспортные работы	
Установка источника энергии (подсчеты основаны на датском уровне цен)	
Установка главного предохранителя	50 000
Основной кабель 100 А	
Установка оборудования и главного пульта	
Здания (подсчеты основаны на датском уровне цен)	
Строительство приспособлений для выращивания рыб площадью 1 400 $м^2$	210 000
Бетонные работы (подсчеты основаны на датском уровне цен)	
Бетонные строительные бассейны, биофильтры, каналы и др.	180 000
Машины	
Два VENTURI вентилятора низкого давления типа HPB 260D, 5,5 кВт. Объем – 1500 $м^3$/ч на 0,8 mvs Два WA 3125 поворотных вентилятора 15/18 кВт Один дизельный вентилятор WA 3200 og, один дизельный двигатель Две мешалки 1,5 кВт RW 300 15/6 Один гидротехнический барабанный фильтр с 40 µm оболочкой Два Grundfos насоса для опрыскивания Один иловый насос для барабанного фильтра Один невод Один LM насос PR400/500 с мотором 400 л/с при 1 mvh Две платформы кислородных инжекторов с насосами 120 л/с	150 000
Оборудование	
15 алюминиевых решеток воздухозаборника 15 алюминиевых решеток выпуска Рамки и детали для установки решеток Разделительные решетки для перемещения насыпных фильтров Рамки и детали для разделительных решеток 3 иловых конуса Помосты 15 автоматов для кормления 15 установок для автоматов для кормления Диффузные рамки и рассеиватели для дегазации воды Рамки и детали для биофильтров Трубы для обеспечения дегазированных областей Зажимы, скобы и арматура Рамки и детали для обводных труб биофильтров 100 $м^3$ биоэлементов	155 000

Монтаж	
Наладка клапанов труб при подключении с монтажем Монтаж в течение 1 недели под датским наблюдением Транспортные расходы на транспортировку двух 40 НС контейнеров с оборудованием из Дании в Беларусь	45 000
Консультации, обучение использованию	40 000
Итого	855 000

Рис. 6.2. Основное производственное здание площадью 1300 м^2

Рис. 6.3. Блок выращивания с блоком аэрации и инжекторной платформой на переднем плане

Рис. 6.4. Одна из двух инжекторных платформ для добавления жидкого кислорода в воду

Рис. 6.5. Вид системы с южной части здания с биологическим фильтром на переднем плане

Рис. 6.6. Биологический фильтр с плавающей подвижной загрузкой

Рис. 6.7. Зона дегазации

Рис. 6.8. Воздуховки CAPSEL и VENTURI для аэрации и дегазации с производительностью 1500 м^3/ч

Рис. 6.9. Щитовая и резервный генератор. Общее потребление энергии – 20–30 кВт.
Основная плата и резервный генератор, общее потребление энергии – 20–30 кВт

Рис. 6.10. Барабанный механический микрофильтр Hydrotech с ячеей сетки 40 мкм

Рис. 6.11. Барабанный механический микрофильтр Hydrotech с ячеей сетки 40 мкм

Рис. 6.12. Конусы для осаждения воды из механического фильтра

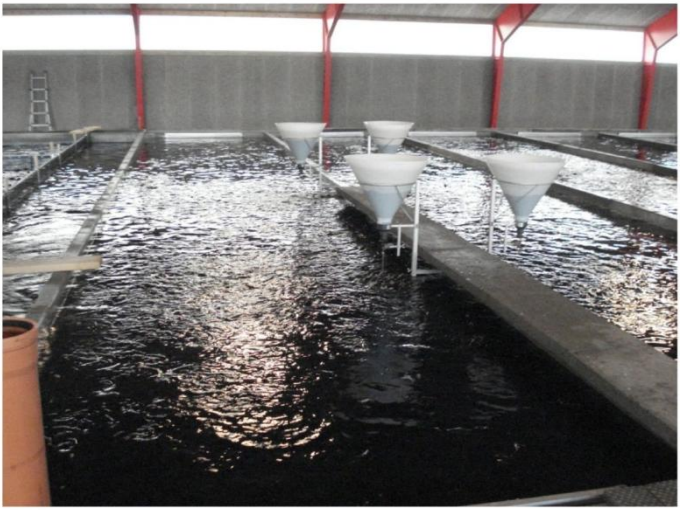


Рис. 6.13. Канальный бассейн с 3,5 т рыбы

Рис. 6.14. Дегазатор, оснащенный воздуховкой VENTUR и системами трубопроводов

Стандартный модуль для выращивания лососевых рыб.

Конструкция. Система основана на бассейнах с циркулирующим потоком воды (рис. 6.15–6.23) и состоит из двух резервуаров объемом каждый примерно 290 $м^3$. К двум бассейнам дополнительно устанавливается биофильтр с подвижным слоем. Необходимо отметить, что план расположения легко изменяется на другой размер резервуара и размер биологического фильтра. Каждый бассейн оборудован центральным аэратором, предназначенным для стабилизации общего давления газа в каждой емкости, тем самым сохраняя насыщенность кислорода около 85 % от всего водоема. Каждый аэратор имеет такие размеры, чтобы обеспечивать поток воздуха 1200 $м^3$/ч. Аэратор имеет диаметр около 3,5 м и поддерживает плавучесть с помощью плавающей рамы. Подача атмосферного воздуха осуществляется на глубине 0,7 м с использованием насоса (7,5 кВт). Воздуходувка VENTURI на этой глубине способна подавать около 2500 $м^3$ воздуха в час. В дополнение к дегазации централизованный аэратор для бассейнов, как правило, поддерживает уровень CO_2 при 8 мг/л и общее давление газов при 100–102 %. В то же время аэратор будет усиливать гидравлическую нагрузку в каждом резервуаре и его способность для самостоятельной очистки.

Вода и подача кислорода. Оборот воды в каждом резервуаре в течение нормальной эксплуатации составляет около 50 л/с, что будет способствовать общему пребыванию воды в резервуарах около 1,5 часа. Чтобы улучшить гибкость в конструкции установок выращивания, насосы разработаны с размерами, обеспечивающими мощность 360 $м^3$/ч для каждого бассейна, что соответствует примерно 100 л/с при требуемой высоте подъема 0,7 м. Проектная мощность насосов может быть использована для подачи и в часы пик. Подача пресной воды на каждую установку, состоящую из двух резервуаров, будет от 7 до 10 л/с (примерно 25–36 $м^3$/ч). Подача воды может быть уменьшена, если это необходимо. Если оборот воды составляет менее 25 % от общего объема в день, то необходимо создание бескислородной фильтрации при помощи фильтра с неподвижным материалом. Из соображений возможности обработки и гибкости, каждый биологический фильтр устанавливается с байпасом размерами 50×60 см при уровне воды в канале порядка 50 см. С минимальной потерей давления канал сможет провести по байпасу до 125 л/с, что обеспечит бесперебойную работу платформ с инжекторами кислорода.

Для обеспечения рыбы достаточным количеством кислорода при температуре воды выше 12–13 °С выполняется основная рециркуляция и включается две платформы с инжекторами кислорода для добавления чистого кислорода, каждая платформа обладает гидравлической мощностью до 75 л/с. Добавочная производительность по кислороду для каждой платформы будет составлять от 4,5 до 5,0 кг/ч. При расходе воды 50 л/с добавление кислорода в объеме 4,5 кг/ч приведет к увеличению концентрации кислорода до 25 мг O_2/л, при расходе воды 100 л/с концентрация кислорода составит 12,5 мг/л. Общая производительность платформ с инжекторами кислорода составляет 9–10 кг O_2/ч. При использовании производительности порядка 4,5 кг кислорода в час суточная производительность может быть рассчитана примерно на 216 кг O_2/24 часа. Указанные значения преобразовываются в суточное количество корма: примерно 550 кг корма/24 часа. В производственном цикле, который основывается на низкой или средней располагаемой массе, платформы с инжекторами кислорода предполагается использовать только изредка. Это позволяет ограничивать потребление электроэнергии в течение нормального режима эксплуатации.

Очистка сточных вод. Удаление частиц происходит из резервуаров через трубу диаметром 200 мм. Данный размер выбирается с уче-

среднем будет поступать 38 г NH_3 + NH_4-N. Данное значение зависит также от кормового коэффициента, содержания азота в рыбе, температуры и др. Если УЗВ располагается в помещении, темпы потребления азотных веществ увеличиваются – 0,5 г выделяемых NH_3 + NH_4-N на 1 $м^2$ активной поверхности биологического субстрата в сутки. Более высокие усредненные темпы потребления достигаются в основном за счет более стабильных значений температуры и условий окружающей среды. Фильтры с подвижным слоем чувствительны к скорости поступающей воды, подаваемой желобами через решетки. Эта конструкция, с использованием кальцинированного материала с поперечным сечением потока порядка 50 %, при скорости примерно 5,5 см/с будет поддерживать скорость поступающей воды. В табл. 6.4 представлены результаты расчета потребления электроэнергии для 1 кг корма, используемого при различных режимах питания. Необходимо отметить, что потребление электроэнергии может изменяться в зависимости от температуры воды и размера рыбы. Перечень оборудования стандартного модуля для выращивания лососевых рыб представлен в табл. 6.5.

Таблица 6.4. **Результаты расчета потребления электроэнергии для 1 кг корма**

Показатели	Варианты		
	1	2	3
Максимальное годовое количество корма, кг	92 000	130 000	180 000
Основное потребление электроэнергии, кВт·ч/год	179 400	179 400	179 400
Потребление электроэнергии кВт/кг корма	1,95	1,38	0,99

Примечание.

Вариант 1. Максимальное годовое потребление корма рассчитывается с исходными данными в Датском законодательстве, касающемся модели рыбоводческих хозяйств.

Вариант 2. Ежегодное потребление корма рассчитывается с использованием темпов потребления для NH_3 + NH_4-N при 0,3 г/$м^2$/24 часа.

Вариант 3. Ежегодное потребление корма рассчитывается с использованием темпов потребления для NH_3 + NH_4-N при 0,5 г/$м^2$/24 часа.

Таблица 6.5. **Перечень оборудования стандартного модуля для выращивания лососевых рыб**

Наименование	Производительность	Энергопотребление одного компонента	Общее потребление электроэнергии	Ожидаемое время эксплуатации	Расчетное годовое потребление электроэнергии
2 насоса для платформ с инжекторами	60–75 л/с	1,5 кВт	3,0 кВт	Непрерывно в течение 6 месяцев/год	12 960 кВт
2 платформы с инжекторами	22–24 л O_2/мин	–	–	–	–
1 первичный насос	130–135 л/с	2,5 кВт	–	Непрерывно	21 900 кВт
1 микрофильтр, включая насос высокого давления и шламовый фильтр	175 л/с	3,5 кВт	3,5 кВт	Непрерывно	30 660 кВт
1 воздуходувка VENTURI для аэрации в резервуарах	1500 $м^3$ воздуха/ч	5,5 кВт	5,5 кВт	Непрерывно	48 180 кВт
1 воздуходувка кругового вращения Aezener для биологического фильтра	570 $м^3$ воздуха/ч	7,5 кВт	7,5 кВт	Непрерывно	65 700 кВт

Примечание. С помощью вычисления предусматривается, что кислородное оборудование используется непрерывно; на основе опыта, это будет только в случае установки в помещениях и при полном использовании производительности установки по выращиванию.

Общее годовое потребление электроэнергии можно рассчитать из вышеуказанных допущений в 179 400 кВтч/год первичной эксплуатаци.

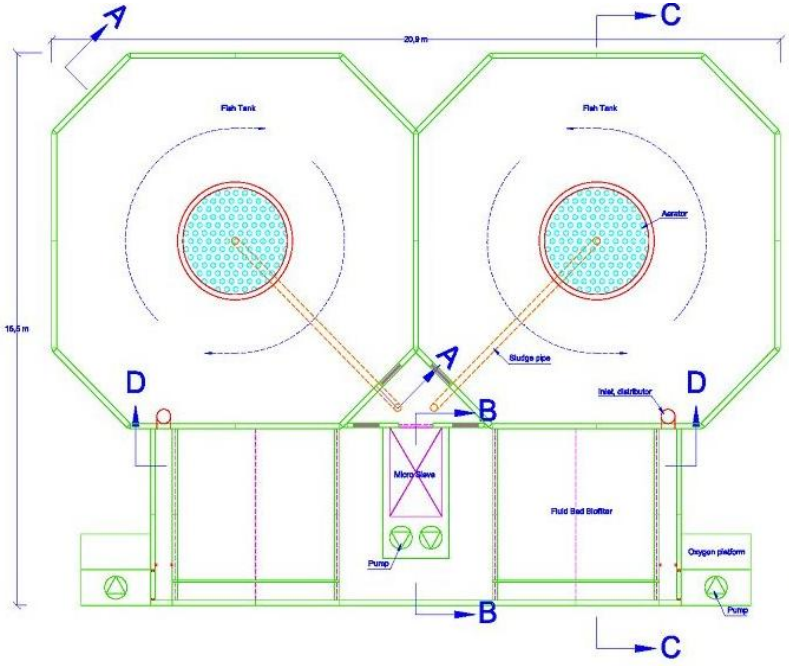
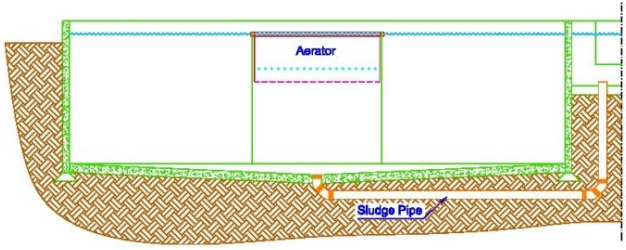


Рис. 6.15. Общая схема стандартного модуля для выращивания лососевых рыб



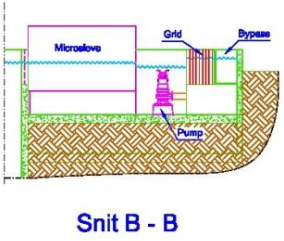


Рис. 6.16. Схема бассейна в разрезе (сверху). Схема размещения микрофильтра и насосов в разрезе (снизу)

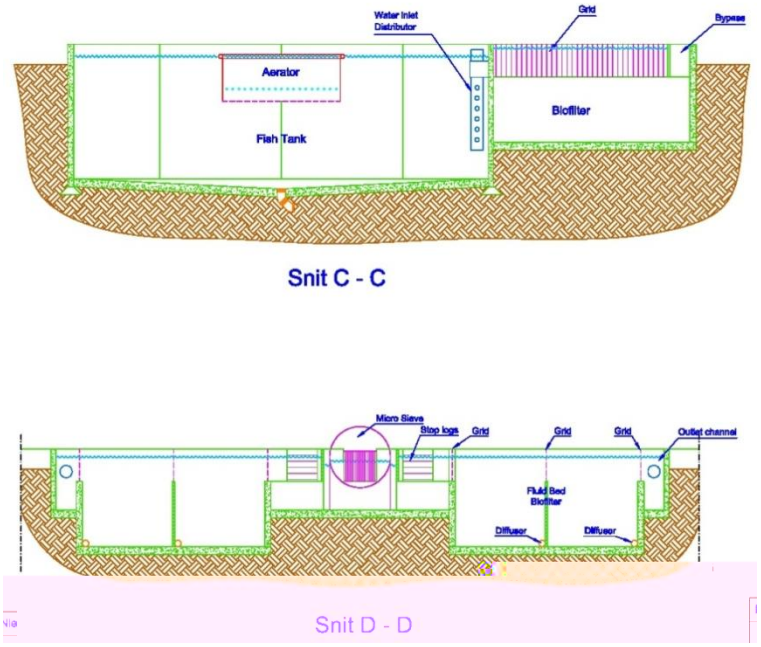


Рис. 6.17. Схема бассейна и биофильтра в разрезе (сверху). Схема биофильра в разрезе (снизу)

Рис. 6.18. Общий вид стандартного модуля для выращивания лососевых рыб (Google Earth)

Рис. 6.19. Бассейн стандартного модуля для выращивания лососевых рыб

Рис. 6.20. Два насоса для платформ с инжекторами

Рис. 6.21. Биофильтр и подающий воздух трубопровод

Рис. 6.22. «Воздушая подушка» в бассейне с рыбой

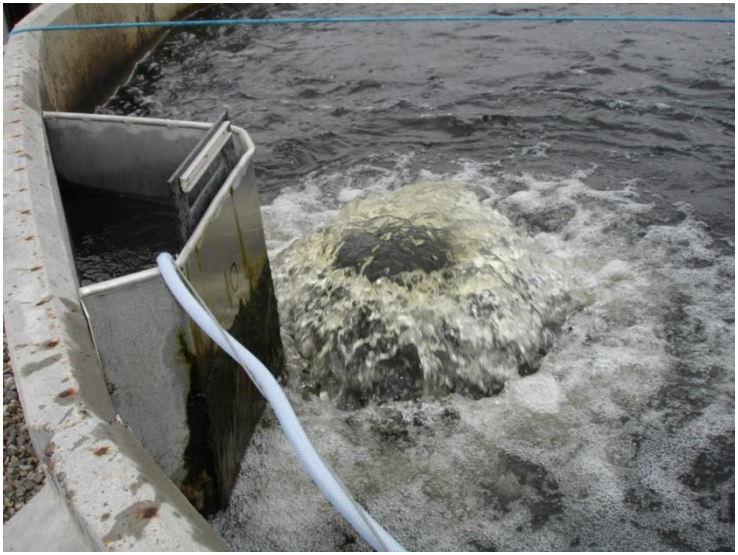


Рис. 6.23. Выход воды из биофильтра в бассейн с рыбой

6.4. Аналитическая записка по результатам посещения товарных форелевых канальных систем Беларуси

По причине неудовлетворительной скорости воды в каналах и бассейнах с рыбой в них будет наблюдаться осаждение взвешенных веществ. Накопление таких веществ будет приводить к образованию токсичных газов, например сероводорода и метана. Для предотвращения осаждения взвешенных веществ в каналах и бассейнах с рыбой необходимо обеспечить скорость движения воды 40 см/с. В этом случае частичное осаждение взвешенных веществ будет происходить в конусах, специально для этого предназначенных. Предотвращению осаждения взвешенных веществ будет способствовать движение рыбы, плотность посадки которой при скорости движения воды 40 см/с должна составлять 35 кг/м^3. При плотности посадки ниже 35 кг/м^3 скорость движения воды должна быть увеличена.

Для улучшения процессов насыщения воды кислородом и обязательного удаления токсичного углекислого газа бассейны с рыбой рекомендуется дополнительно оснастить двумя секциями диффузоров площадью по 9,9 м^2 на глубине 1,8 м. Для дополнительной аэрации рекомендуется использовать воздуходувку низкого давления Вентури (VENTURI, 7,5 кВт), подача которой составляет 2400 м^3 воздуха в час. В данной системе, при использовании воздуха в качестве аэрации, оптимальная плотность посадки должна составлять 35 кг/м^3. Таким образом, максимальная единовременная биомасса в одной УЗВ будет составлять 20 580 кг. Рекомендуемые параметры (при температуре 14 °С): водообмен – 400 л/с; концентрация кислорода в воде – 85 % (допустимо кратковременное снижение до 67 %). Рекомендуемые параметры должны изменяться в зависимости от температуры воды и уровня кормления.

В связи с тем что использование эрлифтов на глубине 2 м является крайне неэффективным (10 % от максимальной эффективности), мы рекомендуем заменить эрлифт на два осевых насоса, подача каждого их которых составляет 150–200 л/с, с контролируемым преобразователем частоты. При необходимой высоте подъема 35 см потребление энергии для двух насосов составит 4,0 кВт. Конусы, установленные в модулях, эффективны для удаления взвешенных частиц размером более 100 мкм, для частиц менее 100 мкм данные конусы неэффективны. В УЗВ, по причине высокой рециркуляции, доля крупных частиц (размером более 100 мкм) незначительна (не более 10 %), поэтому для

удаления взвешенных веществ размером менее 100 мкм рекомендуется установить механический барабанный фильтр с размером сетки 40 мкм. В целях недопущения скопления элементов загрузки на сетках биофильтра рекомендуется заменить металлическую сетку на полиэтиленовую односкатной формы. Для распределения гидравлического потока рекомендуется осуществить разбивку погружного биофильтра с кипящим слоем на три секции с отдельной независимой системой подачи воздуха. Наши предварительные расчеты показали, что в биологических фильтрах должны быть выдержаны следующие параметры:

Биофильтр с подвижным слоем

Объем биологической загрузки	26,7 $м^3$
Поверхность биологической загрузки	19,5 $м^3$
Удельная площадь поверхности загрузки	730 $м^2/м^3$

Биофильтр с неподвижным слоем

Объем биологической загрузки	56,3 $м^2/м^3$
Поверхность биологической загрузки	41,1 $м^2/м^3$
Удельная площадь поверхности загрузки	730 $м^2/м^3$

При температуре воды 14 °С биофильтр с подвижным слоем способен окислить 3,898 г аммония в сутки, биофильтр с неподвижным слоем – 8,227 г аммония в сутки. При использовании комбикормов Aller Bronze 45/15 максимально возможная биомасса в системе составит 14 т, Aller Silver 45/20 – 19 т, Aller Platinum 48/24 – 21 т. При увеличении температуры воды до 18 °С окислительная способность биофильтра повышается. Для удаления токсичного углекислого газа, который в больших количествах будет выделяться после биологического фильтра, действуя крайне негативно на рыб, рекомендуется после погружного неподвижного биофильтра установить аэраторы для дегазации (дегазатор) общей площадью 20 $м^2$. Предложения по модернизации типовых проектов форелевых УЗВ канального типа приведены на рис. 6.24–6.26.

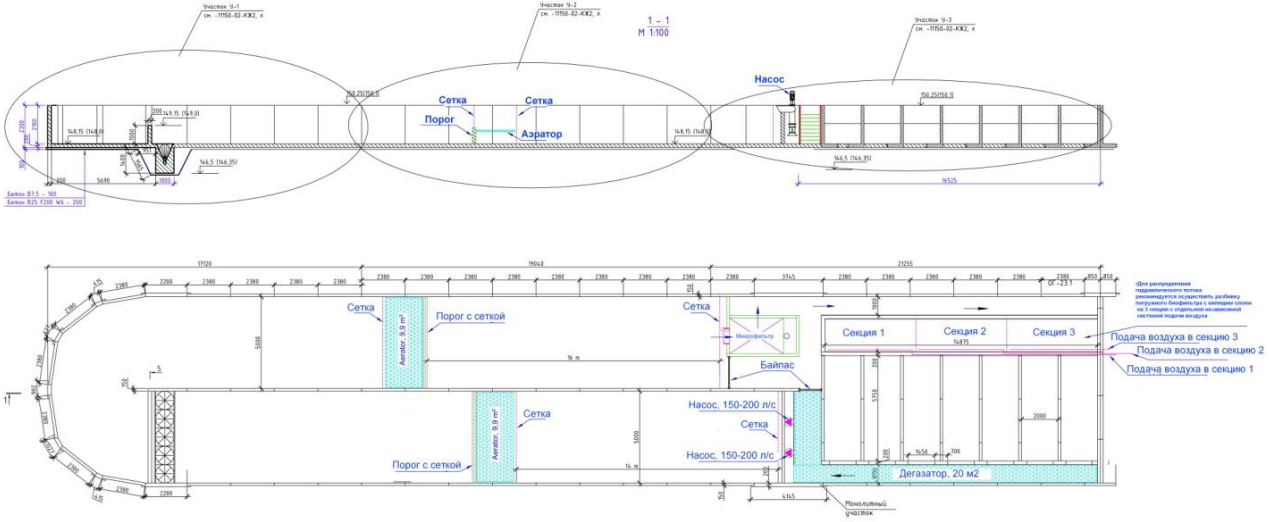


Рис. 6.24. Предложения по модернизации типовых проектов форелевых УЗВ канального типа

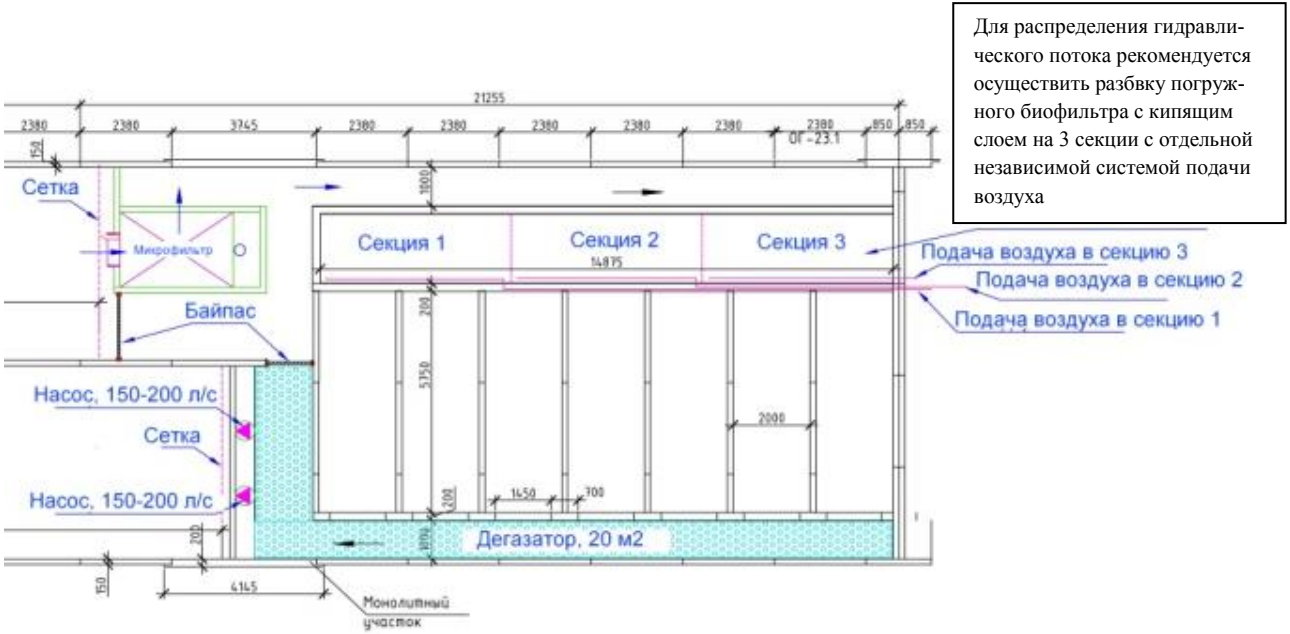


Рис. 6.25. Предложения по модернизации типовых проектов форелевых УЗВ канального типа (увеличение)

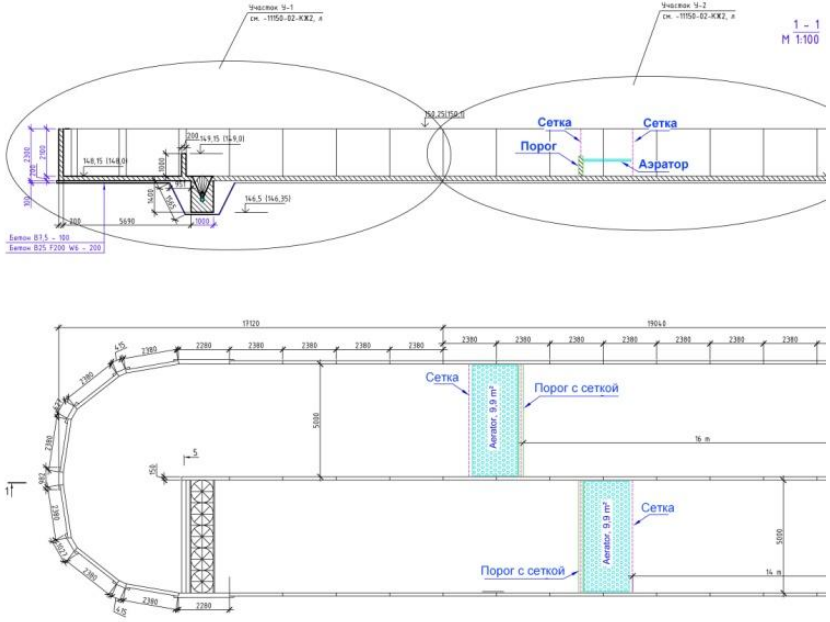


Рис. 6.26. Предложения по модернизации типовых проектов форелевых УЗВ канального типа (увеличение)

6.5. Примеры форелевых хозяйств Европы

В качестве примера канальных УЗВ приведем описание некоторых рыбоводных хозяйств Дании и Польши, полученных в ходе экскурсий автора данной монографии и его коллег.

Рыбоводное хозяйство «Халлюндбэк» (Hallundbaek). Рыбоводное хозяйство с замкнутым водоснабжением канального типа с биофильтрами. Годовое производство – 230 т порционной (300–500 г) форели. Состоит из трех независимых секций, каждая – из двух каналов (рис. 6.27). Размеры каналов: длина – 25 м, ширина – 5 м и глубина – 1,1 м.

Циркуляция воды в секции – 300 л/с. Вода приводится в движение эрлифтом глубиной 1,7 м. Для снабжения хозяйства сжатым воздухом используется воздуходувка мощностью 22 кВт. Всего в хозяйстве три воздуходувки, одна работает постоянно, еще одна используется при повышении расхода воздуха и третья – резервная. Есть воздуходувка с дизельным приводом и дизель-генератор. Водоснабжение хозяйства осуществляется водой из ручья, 55 л/с. Температура воды колеблется от 6 ºС зимой до 16 ºС летом. Биофильтр на каждой из секций состоит из двух частей: фильтра псевдоожиженного слоя (пластиковые гранулы) (рис. рис. 6.28) и фильтра с неподвижной загрузкой (на биоблоках) (рис. рис. 6.29). Перед биофильтром установлены конусы для сбора фекалий, которые очищаются каждый второй день.

Рис. 6.27. Рыбоводное хозяйство «Халлюндбэк» (Hallundbaek)

Рис. 6.28. Биофильтр с неподвижной загрузкой

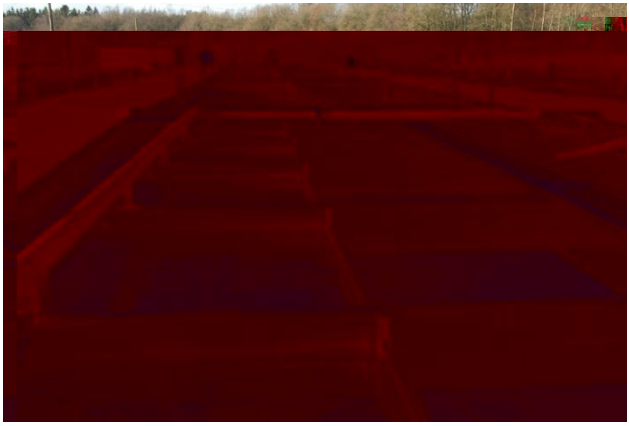


Рис. 6.29. Биофильтр с псевдоожиженным слоем

Рыбоводное хозяйство «Хьярню» (Hjarno). Садковое хозяйство, расположенное в Балтийском море около побережья Дании. Годовое производство – 1000 т крупной (3–4,5 кг) форели. Основная цель производства – икра на ястыках, которая заготавливается на месте мастерами из Японии и поставляется в Японию. Рыба после извлечения икры продается относительно дешево. Используются круглые садки диметром 12 м и глубиной 4,5 м (мелко). Весной (в апреле) в садки по-

мещают форель массой примерно 900 г, выращенную в пресной воде. В ноябре рыбу массой 3–4,5 кг забивают и отправляют на переработку (рис. 6.30). Для выращивания используют однополую (только самки) популяцию. Кормят кормом Эфико Энвиро 923 (Эколайф 23) производства БиоМар по максимальной норме кормления. Кормовой коэффициент за период выращивания равен 1,2–1,4. Кормление осуществляют со специальных судов с помощью водяной пушки. Имеется свой забойный цех, в котором производится потрошение рыбы и изъятие икры (рис. 6.31). Переработка сезонная, примерно 1500 т в год. Для забоя садок подтаскивают к берегу, где на судне рыбу забивают и

Рыбоводное хозяйство «Фундерхулме» (Funderholme). Рыбоводное хозяйство на замкнутом водоснабжении, находящееся внутри металлического павильона, собранного из профнастила без утепления (рис. 6.32). Годовое производство – 350 т рыбы. Хозяйство состоит из 10 поперечных бассейнов длиной 25 м, шириной 4 м и глубиной 1,3 м. Циркуляция воды в хозяйстве – 1200 л/с. В каждом бассейне установлен продольный диффузор для обеспечения аэрации воды и поперечной циркуляции. Подпитка очень небольшая (примерно 5 л/с). В воду постоянно добавляют известь для поддержания pH на постоянном уровне. Имеется аэрационная колонна на биофильтрах для насыщения воды кислородом (вода подается на колонну турбинными насосами). Биофильтр состоит из фильтра псевдоожиженного слоя и 4 отсеков с керамзитовой загрузкой (толщина слоя керамзита – 75 см). Температура воды колеблется от 7–8 ^{o}C зимой до 21 ^{o}C летом. В каждый бассейн для выращивания помещают от 1 до 3 т рыбы массой 50 г. Посадка рыбы на выращивание осуществляется партиями, с июля по ноябрь. Рыбу выращивают до массы 350 г (в течение примерно 6 месяцев) или до 1 кг (примерно 8 месяцев). Рыбу сортируют один раз, при реализации. Кормление осуществляется по поедаемости с помощью маятниковых автокормушек, которые наполняются кормом из силосов с помощью шнекового податчика. Стоимость строительства всего модуля составляет 400 тыс. евро.

Рис. 6.32. Рыбоводное хозяйство «Фундерхулме» (Funderholme)

Рыбоводное хозяйство «Кархеде Дабруг» (Kaerhede Dambrug). Владелец хозяйства Кристиан Йоргенсон имеет 10 рыбоводных хозяйств, на которых суммарно используется в год 1300 т корма. В самом хозяйстве «Кархеде Дамбруг» имеется несколько рыбоводных модулей, использующих для работы различные технологии замкнутого водоснабжения: прямоугольные бассейны с внутренней циркуляцией, круглые бассейны с внутренней циркуляцией, прямоточный канал с эрлифтом. Все рыбоводные модули замыкаются на общие очистные сооружения, оборудованные барабанными фильтрами, биофильтрами и оксигенаторами. Общий расход электроэнергии в хозяйстве составляет примерно 500 тыс. кВт·ч в год.

А) Круглые бассейны (рис. 6.33).

В хозяйстве имеются две линии таких бассейнов, в каждой линии – 7 бассейнов из сборного железобетона, с коническим дном, заглубленные в землю, диаметром 8 м и глубиной 3,5 м. Центральный бассейн используется в качестве биофильтра псевдоожиженного слоя. С каждого бассейна в биофильтр подается 120 л/с воды для очистки. В центре каждого из рыбоводных бассейнов на глубине 80 см установлен диффузор низкого давления (рис. 6.34), окруженный цилиндрической стенкой с двумя вырезами. Эта конструкция обеспечивает внутреннюю циркуляцию воды в бассейне. На каждую линию бассейнов подается 20 л/с свежей воды (с общих очистных сооружений), кроме того, имеется возможность подачи гипероксигенированной воды с содержанием кислорода 20–30 мг/л. В бассейнах осуществляется выращивание молоди массой от 2 г. В бассейн помещают 2 т рыбы и выращивают до достижения биомассы 11 т. Выращивание занимает 50 дней при среднесуточном приросте 2 % в день. Используются корма ИНИЦИО Плюс (БиоОптимал Старт) и Эфико Энвиро 920 (Эколайф 20) производства компании «БиоМар».

Среднесуточное потребление кормов на каждой линии (из 6 бассейнов) составляет 480 кг при кормовом коэффициенте 0,75. Рыбу кормят с помощью маятниковых кормушек в течение 4–8 часов в день.

Отвод воды из бассейнов осуществляется из центра со дна с помощью наклонной трубы, выведенной наверх к краю бассейна, в сливное устройство. Труба работает по принципу сифона и обеспечивает удаление из бассейна фекалий, остатков корма и мертвой рыбы.

Подача воздуха осуществляется от низконапорной (80 мБар) вентиляторной воздуходувки.

Рис. 6.33. Круглые бассейны рыбоводного хозяйства «Кархеде Дабруг» (Kaerhede Dambrug)

Рис. 6.34. Диффузор низкого давления в центре круглого бассейна

Б) Прямоугольные бассейны с внутренней циркуляцией.

Представляют собой бетонные бассейны длиной 25 м, шириной 6 м и глубиной 1 м, общим объемом 150 м^3.

Подача воздуха на диффузоры осуществляется низконапорной вентиляторной воздуходувкой с давлением воздуха 80 мБар и мощностью 7,5–11 кВт. Каждый бассейн разделен вдоль стенкой, которая не доходит до самых краев бассейна.

Рис. 6.35. Прямоугольные бассейны с внутренней циркуляцией

Рис. 6.36. Низконапорный диффузор (во включенном режиме)

С одной стороны бассейна установлен низконапорный (80 мБар) диффузор, обеспечивающий круговое движение воды со скоростью 180 л/с (рис. 6.35–6.37), с другой – фекальные конусы и решетки на водосбросе.

В каждый бассейн поступает 50 л/с воды с очистных сооружений, и 50 л/с отправляется на очистные сооружения. В каналах бассейна обеспечивается соответственно поток 180 и 230 л/с. Кроме того, имеется возможность подачи в каналы гипероксигенированной воды.

В каналах выращивают рыбу до массы 100–300 г в течение примерно 60 дней. Биомасса в бассейне составляет 5 т.

Всего в хозяйстве имеется 10 каналов, объединенных общими системами подачи и отвода воды, подачи сжатого воздуха и гипер оксигенированной воды.

Рис. 6.37. Низконапорный диффузор (в выключенном режиме)

В) Мальковое хозяйство.

Расположено в нескольких минутах езды от основного хозяйства. Питается водой из ручья – 20 л/с. В хозяйстве осуществляется инкубация икры, перевод молоди на активное питание и подращивание до

массы 2–3 г. Ежегодно подращивается около 6 млн. шт. молоди, 6–8 партиями (партия – около 1 млн. икры). Икра закупается у фирм-производителей. Для инкубирования и перехода на активное питание используется только свежая вода, для подращивания – вода, пропущенная через биофильтры. Инкубирование осуществляется на рамках (рис. 6.38). В каждой – по 15 тыс. шт. икры. Температура воды при инкубации – 8 ^{o}C. Отход со стадии глазка (приобретение икры) до перехода на активное питание составляет 5 %. В здании инкубатора подращивают до 1,2 млн. мальков до длины 2–3 см (рис. 6.39). Подращивание занимает 2–3 недели, затем мальков переводят в другое здание. Там их выращивают в течение 6 недель, кормят 20 часов в сутки. Затем переводят в лотки емкостью 2000 л, где круглосуточно кормят. Лотки чистят 1 раз в сутки.

Рис. 6.38. Инкубационные рамки

Рис. 6.39. Лотки для подращивания личинок

Рыбоводное хозяйство «Мункбро» (Munkbro). Рыбоводное хозяйство, работающее на замкнутом водоснабжении (рис. 6.40), предназначено для выращивания молоди форели. В хозяйстве имеется свой инкубатор и цех для подращивания мальков. Годовое производство – 70 т.

Хозяйство состоит из 16 бетонных каналов длиной 14 м, шириной 2 м и глубиной 1 м, общим объемом 28 м^3. Подпитка составляет 25 л/с свежей воды (поступающей из инкубатора и малькового цеха). Система оборотного водоснабжения обеспечивает циркуляцию 300 л воды в секунду.

В хозяйстве нет биофильтра, вода из возвратного канала поступает на барабанный фильтр с размером ячеек 60 мкм, затем на отдувку большой площади (12 м^2) (рис. 6.41) и затем на эрлифт глубиной 4 м. Считается, что отдувка обеспечивает удаление из воды части аммиака, однако в целом хозяйство работает в достаточно напряженном режиме по азоту. Температура воды в хозяйстве – 8–13 ^{o}C, в каждом бассейне ежедневно используется 50–70 кг корма. Рыба выращивается до массы 30 г. Выше хозяйства находится инкубатор, который питается водой из скважины (рис. 6.42).

Перед инкубатором вода проходит процедуру удаления железа. Для этого вода пропускается через аэрационную колонну, затем через оксигенатор для достижения насыщения кислородом в 100 %. Затем вода

поступает в накопительный бассейн, где окисленное железо выпадает в осадок. Вода из бассейна поступает на песчано-гравийный фильтр глубиной 1 м, где фильтруется сверху вниз. На дне фильтра уложены пластиковые трубы-диффузоры, над ними – конструкция из кирпичей, затем слой гравия 20 см, слой мелкого гравия 20 см, слой песка 20 см. Фильтр промывается сжатым воздухом методом противотока, как керамзитовый биофильтр (рис. 6.43). Очистка фильтра занимает 20 минут. В инкубатор закладывается по 800 тыс. шт. икры за неделю до выклева. Выход с инкубации составляет 85–90 %.

Рис. 6.40. Рыбоводное хозяйство «Мункбро» (Munkbro)

Рис. 6.41. Отдувка воды

Рис. 6.42. Инкубатор рыбоводного хозяйства «Мункбро» (Munkbro)

Рис. 6.43. Промывка фильтра сжатым воздухом

Рыбоводное хозяйство «Ню Мюлле» (Ny Molle Dambrug). Товарное рыбоводное хозяйство, работающее на замкнутом водоснабжении. Годовое производство – 650 т товарной рыбы порционного размера (350–600 г).

Хозяйство состоит из 8 независимых модулей длиной 50 м с прямым и возвратным каналами шириной 5 м и биофильтрами (рис. 6.44). Биофильтр состоит из фильтра псевдоожиженного слоя с загрузкой пластиковыми гранулами и неподвижного фильтра с загрузкой тяжелыми (тонущими) пластиковыми гранулами. В каждом модуле имеется 2 эрлифта (по одному в каждом канале). Скорость течения воды в канале составляет 600 л/с. Подпитка хозяйства водой составляет 40 л/с, в том числе 19 л/с – из дренов, проложенных рядом с хозяйством. Вода проходит процедуру удаления железа на специальной колонне (рис. 6.45).

Рис. 6.44. Модуль рыбоводного хозяйства «Ню Мюлле» (Ny Molle Dambrug)

На выращивание сажают форель массой 10–12 г и выращивают ее до массы 350–600 г, что в зависимости от времени года и температуры воды занимает 6–12 месяцев. Используется корм «Эфико Энвиро 920» производства компании «БиоМар», средний кормовой коэффициент

составляет 0,9–0,93. В хозяйстве установлены 5 ротационных воздуходувок мощностью 22 кВт и дизельный генератор. Три воздуходувки используются для работы эрлифтов и биофильтров и одна – для промывки фильтров. Еще одна находится в резерве. В каждом модуле установлено по 2 датчика кислорода, информация с которых выводится на прибор и на компьютер оператора. Устройство может подать сигнал тревоги в случае отклонения параметров от заданных и передать этот сигнал на мобильный телефон. В хозяйстве работают 2 человека, стоимость строительства хозяйства с оборудованием составляет 1 800 тыс. евро.

Рис. 6.45. Колонна удаления железа

Рыбоводное хозяйство «Ровнинг» (Ravning) компании «Трутекс АпС» (Troutex ApC). Компания «Трутекс» является производителем оплодотворенной икры радужной форели. На одном из принадлежащих ей хозяйств, «Ровнинг», ежегодно производится 18 млн. шт. оплодотворенной икры, партиями по 2 млн. шт. в месяц, с ноября по апрель (рис. 6.46). При наличии заказов имеется возможность (путем регулирования фотопериода) получать икру с июля по сентябрь. Оплодотворенная икра экспортируется во многие страны, в том числе в Финляндию. Цена икры – 14 евро за 100 шт. икринок на стадии глазка. Произ-

водители содержатся в земляных прудах (рис. 6.47) и в павильоне с постоянным освещением (рис. 6.48). Вода поступает самотеком из ручья. В стальном павильоне с постоянным освещением находятся два канала длиной 20 м, шириной 5 м и глубиной 1,1 м, общим объемом 230 $м^3$ воды. Часть воды (20 л/с) отбирается и пропускается через биофильтр. Имеется аэрационная колонна на биоблоках. В инкубаторе может находиться одновременно до 5 млн. икры. На один лоток подают до 5 л/с чистой воды. При необходимости задержки развития икры воду охлаждают до 2 ^oC с помощью установки для охлаждения молока. Могут производить как двуполые популяции, так и однополые и триплоиды. Первый нерест самок происходит в возрасте 4 лет. Самки используются для нереста три раза – в возрасте 4, 5 и 6 лет. Для нереста обычно используются 6-годовые самки и 4-годовые самцы, для однополой популяции – 6-годовые самки и 5-годовые самцы. Для анестезии производителей при нересте используют гвоздичное масло. Потери производителей после нереста составляют примерно 10 %.

Маточное стадо составляет 3000 шт., включая самцов, плодовитость – 2000 шт. икры на 1 кг рыбы. Ведется селекция двух линий – ранне- и поздненерестующих – методом семейной селекции. Выживаемость икры со стадии пигментации глаз составляет 85–95 %. Для дезинфекции в хозяйстве широко используют препараты йодоформа.

Рис. 6.46. Инкубация икры

Рис. 6.47. Земляные пруды для содержания производителей

Рис. 6.48. Павильон с постоянным освещением

Рыбоводное хозяйство «Твильху» (Tvilho). Рыбоводное хозяйство с замкнутым водоснабжением мощностью 150 т товарной рыбы в год. Выращивается порционная рыба (300–500 г). В хозяйстве имеется свой инкубатор и цех для выращивания молоди на замкнутом водоснабжении. Хозяйство состоит из 4 двойных каналов длиной 45 м, шириной 4 м и глубиной 0,8–0,9 м. Вода приводится в движение эрлифтами, скорость течения в каналах составляет 480 л/с. В каждом канале находится 8 т рыбы, максимальная нагрузка – до 14 т. Подпитка всех каналов составляет 7 л/с. 160 л воды в секунду с каждого канала отправляется на биофильтры, т. е. 1/3 всей воды отправляется на очистку. Биофильтры глубиной 4 м сделаны на базе биоблоков. В воду добавляют известь для регулирования pH. В цехе подращивания молоди имеется 10 отделанных кафелем бассейнов, которые снабжаются водой с помощью эрлифта мощностью 100 л/с. В каждом бассейне содержится 400 кг рыбы массой 5–6 г. В бассейнах установлены продольные диффузоры для улучшения циркуляции воды. Подпитка составляет 6 л/с. Управление хозяйством осуществляется с помощью программы «БиоСистем» («БиоМар»).

Форелевое маточное хозяйство «Dąbie» (р-н г. Бытова, Поморское воеводство, Польша). Первый модуль хозяйства был построен в 2004 г. Всего в системе находится 130 т биомассы. 3 модуля УЗВ по 1000 $м^3$ воды и 4 модуля, работающих по технологии фотопериода (рис. 6.49).

В 250 м от хозяйства имеется родник, который является основным водоисточником. Кроме родника, для подпитки других цехов интенсивно используется вода из неглубоких скважин (до 10 м). При необходимости делается более 5 скважин в течение дня. Вода из родника течет по трубе диаметром 250 мм. Вода сначала проходит первый отстойник (рис. 6.50).

Постоянная подпитка свежей воды составляет 25 л/с. Вода сначала отстаивается, потом насыщается кислородом. В родниковой воде много железа и углекислого газа, от которых избавляются оксигенацей и интенсивной аэрацией. После прохождения отстойника вода подается в небольшие бассейны (объем одного бассейна – 12 $м^3$), которых насчитывается около 30 шт. (рис. 6.51). В них в основном находятся самки различного возраста, которым поменяли пол. В одном бассейне может сидеть до 1 т рыбы.

Рис. 6.49. Рыбоводные модули форелевого маточного хозяйства «Dąbie»

Рис. 6.50. Отстойники для родниковой воды

Рис. 6.51. Бассейны для содержания форели, которой сменили пол

Отстоенная свежая вода подается только в первый ближний модуль (рис. 6.52). Далее вода течет последовательно – из одного модуля во второй. Всего таких модулей 3. Каждый модуль обязательно имеет барабанный механический фильтр, биологический фильтр, аэраторы, низконапорные оксигенаторы.

Рис. 6.52. Первый модуль канального типа

Вода в движение приводится эрлифтами. Также непосредственно в канале имеется пропеллерный насос с потреблением электроэнергии около 1 кВт. Плотность посадки младшего ремонтного стада – 25 кг/м^3, старшего ремонтного стада – 50 кг/м^3, производителей перед нерестом – 40 кг/м^3. Температура входящей воды в системе составляет 8 °С, от модуля к модулю она понижается в зимнее время (в последнем модуле температура понижается до 2 °С). В летнее время, наоборот, – в последнем повышается до 16 °С. Температура выше 18 °С критична. В планах – строительство навеса.

При завозе молоди из другого хозяйства или переводе рыбы из модуля в модуль ей сразу дают антибиотики. Механический фильтр в зимнее время замерзает и поэтому вынимается. Скорость потока воды в каналах составляет 30–40 см/с. Поэтому твердые нерастворенные вещества не успевают осесть в канале, а попадают непосредственно в механический фильтр, откуда они удаляются. В качестве биологической загрузки используют водостойкий керамзит, который специально подготавливают. Керамзит помещается в специальную камеру, создается вакуум, который удаляет весь воздух из пор. Затем подается вода. В результате получается керамзит, который не плавает и не полностью тонет. В течение 10 лет керамзит в биофильтре регулярно подменяется. Чистку биофильтров осуществляют ежедневно. В дальнейшем планируют отказываться от керамзита в пользу пластиковой загрузки. После прохождении биофильтра первого модуля вода подается на второй модуль. Для циркуляции используют в основном воздуходувки, которые подают воздух на эрлифты (рис. 6.53). Каждая воздуходувка подает 3 м^3 в минуту, что позволяет поднимать воду на 15 см со скоростью 500 л/с. На каждый модуль установлено по одной воздуходувке. Резервной воздуходувки нет.

Рис. 6.53. Эрлифт в процессе работы

Функцию резервной воздуходуки выполняет компрессор, который служит для промывки биофильтров. При необходимости этот компрессор используется как резервный. Системы автоматики нет, но стоят датчики контроля за работой воздуходувок.

В хозяйстве имеется 5 линий генераций форели, которые нерестятся с сентября по май в зависимости от линии генерации, и 6 линий, выращиваемых на фотопериоде (т. е у них смещается нерест за счет использования фотопериода), они нерестятся с июня по август. Каждую линию генерации содержат в отдельном бассейне. Каждую возрастную группу (сеголетка, двухлетка, трехлетка, четырехлетка, пятилетка, шестилетка) содержат отдельно. Самки начинают нереститься со второго года. Икру от первонерестящихся не используют совсем. Такая икра утилизируется. Икру от второго нереста используют только 50 %. Основная икра – это 4, 5, 6-й год. После каждого нереста от 25 до 30 % – отход производителей. Рыбу не продают – только утилизируют. Основное стадо самок – 70 тыс. шт. Основное стадо самцов (самки, которые с помощью гормонов были превращены в самцов) – 500 шт. Средняя плодовитость самок – 1500 шт/кг.

В каждом модуле, работающем на фотопериоде (рис. 6.54), находится 5 т рыбы. Всего 4 модуля по 2 бассейна в каждом.

Рис. 6.54. Модуль, работающий на фотопериоде

Система контроля за продолжительностью светового дня (рис. 6.55) регулирует также закаты и рассветы (т. е. в течение получаса загорается или гаснет весь свет).

Рис. 6.55. Система контроля за продолжительностью светового дня

Для лечения и профилактики используют 40%-ный формалин в дозировке 60 г/м^3. Он очень мягко действует на биологический фильтр.

Для получения диплоидов в корм личинок добавляют тестостерон в дозировке 10 мг/кг сразу при переходе на активное питание. Для получения триплоидов используют оплодотворенную икру, которую подвергают давлению 700 Бар в течение 45 минут при температуре 10 °С. Для дезинфекции инкубационных цехов используют кварцевые лампы.

Кроме канальных УЗВ, для Беларуси перспективными являются также другие варианты УЗВ.

6.6. Примеры установок замкнутого водоснабжения, перспективных для аквакультуры Беларуси

В последние годы в Беларуси активно развивается аквакультура в УЗВ. В рамках Государственных программ, а также в рамках частных и иностранных инвестиций начиная с 1998 г. было реализовано более 13 проектов по созданию рыбоводных индустриальных комплексов на базе УЗВ по выращиванию таких рыб, как осетровые (фермерское хозяйство «Василек» Дзержинского р-на (рис. 6.56–6.57); КСПА «Несвижская» Несвижского р-на; ООО «ТМ» г. Минска; ООО «Ремона» г. Могилева; СП «Санта Бремор» ООО г. Бреста), клариевые (ИООО «Ясельда» Березовского р-на (рис. 6.58–6.59)); лососевые (УО БГСХА г. Горки (рис. 6.60–6.61); КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва» Быховского р-на; КПУП «Форелевое хозяйство «Высокое» Костюковичского р-на; ОАО «ПМК-83 Водстрой» Белыничского р-на; «Рыбопитомник «Богушевский» УП «Лиозненское ПМС» Лиозненского р-на; ОАО «Рыбхоз «Альба» Несвижского р-на; угревые (фермерское хозяйство «Актам Фиш» Миорского р-на) и др.

Рис. 6.56.Фермерское хозяйство «Василек» Дзержинского р-на. Хозяйство построено в начале 2000-х гг.

Рис. 6.57.Фермерское хозяйство «Василек» Дзержинского р-на. Отличительной особенностью данной УЗВ являются стальные бассейны с наклонным дном и конусом для сбора шлама, а также эрлифты для дополнительной циркуляции и аэрации воды

Рис. 6.58. УЗВ ИООО «Ясельда» Березовского р-на.
Общая схема размещения оборудования

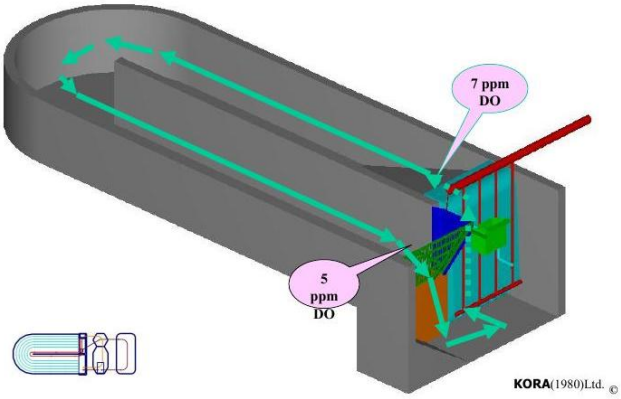


Рис. 6.59. В основе работы УЗВ ИООО «Ясельда» Березовского р-на лежит технология «Мегапоток». Данная система обеспечивает равномерную подачу растворенного кислорода. Вода в бассейн с рыбой подается с такой скоростью, которая является оптимальной для различных возрастных групп и видов рыбы

Рис. 6.60. Рыбоводный индустриальный комплекс УО БГСХА построен в 2012 г. на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства

Рис. 6.61. В состав рыбоводного индустриального комплекса УО БГСХА входит четыре модуля: модуль инкубации, модуль выращивания молоди до массы 5 г, два модуля выращивания молоди до массы 50 г

В качестве примера проекта УЗВ с круглыми бассейнами можно рассматривать также предложение от немецкой фирмы Fischtechnik (рис. 6.62), которое включает слудующее оборудование:

круглые бассейны диаметром 6 м, высотой 1,6 м;

круглые бассейны диаметром 4 м, высотой 1,4 м;

круглые бассейны диаметром 3 м, высотой 1,4 м;

механический фильтр (барабанный сетчатый фильтр) с насосом обратной промывки, управлением, мостками обслуживания;

оборудование для биофильтра, включая загрузку, аэратор, две воздуходувки, трубы, мостики обслуживания;

насосное оборудование, насос биофильтра, два циркуляционных насоса (800 м³/ч), включая поплавковый выключатель и обратные клапаны;

система кислородной аэрации (оксигенации) типа Oxytrans 1600 с узлом дозировки и системой аварийной аэрации;

ультрафиолетовая дезинфекция, включая шкаф управления и монтажный корпус;

озоновая дезинфекция;

техника кормораздачи;

система управления типа Bluebox Basic с архивацией данных и комплектом датчиков;

система трубопроводов для воды и кислорода;

теплообменник;

комплект оборудования для инкубационно-личиночного участка (бассейны, насосы, фильтры);

аварийный электрогенератор (ручной пуск).

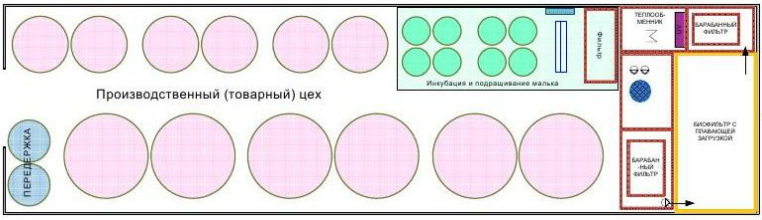


Рис. 6.62. Проект УЗВ с круглыми бассейнами немецкой фирмы Fischtechnik

Установки замкнутого водоснабжения, построенные в КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва» Быховского р-на, в КПУП «Форелевое хозяйство «Высокое» Костюковичского р-на, в ОАО «ПМК-83 Вод-

строй» Белыничского р-на, в «Рыбопитомнике «Богушевский» УП «Лиозненское ПМС» Лиозненского р-на и в ОАО «Рыбхоз «Альба» Несвижского р-на, основаны на так называемых канальных системах, которые впервые были разработаны в Дании, а затем получили распространение в Германии и Польше.

В качестве вариантов использования бетонных бассейнов прямоугольной формы на рис. 6.63–6.66 приведены различные схемы УЗВ.

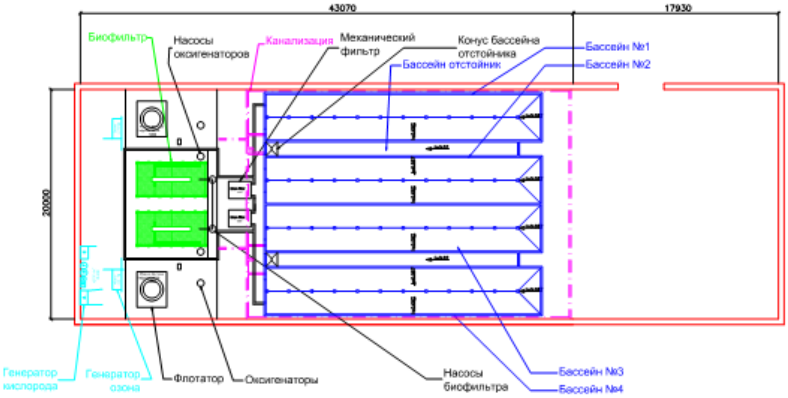


Рис. 6.63. Схема УЗВ с бетонными прямогульными бассейнами (вариант 1)

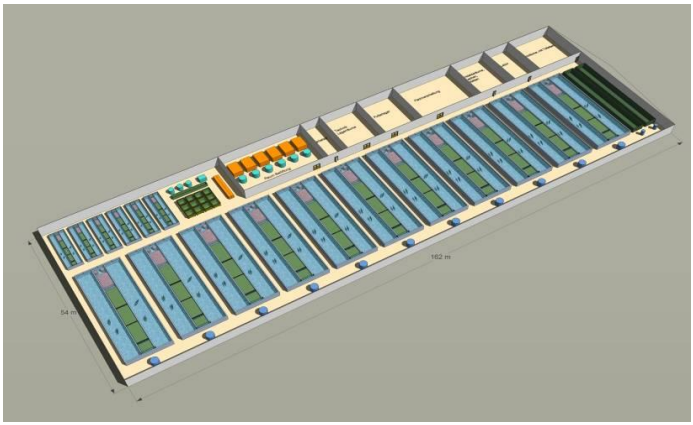


Рис. 6.64. Схема УЗВ с бетонными прямоугольными бассейнами (вариант 2)

Рис. 6.65. Схема УЗВ с бетонными прямоугольными бассейнами (вариант 3)

Рис. 6.66. Схема УЗВ с бетонными прямоугольными бассейнами (вариант 4)

Заслуживает внимания приведенная ниже схема УЗВ для выращивания осетровых рыб, в основе которой лежат также бетонные бассейны прямоугольной формы (рис. 6.67).

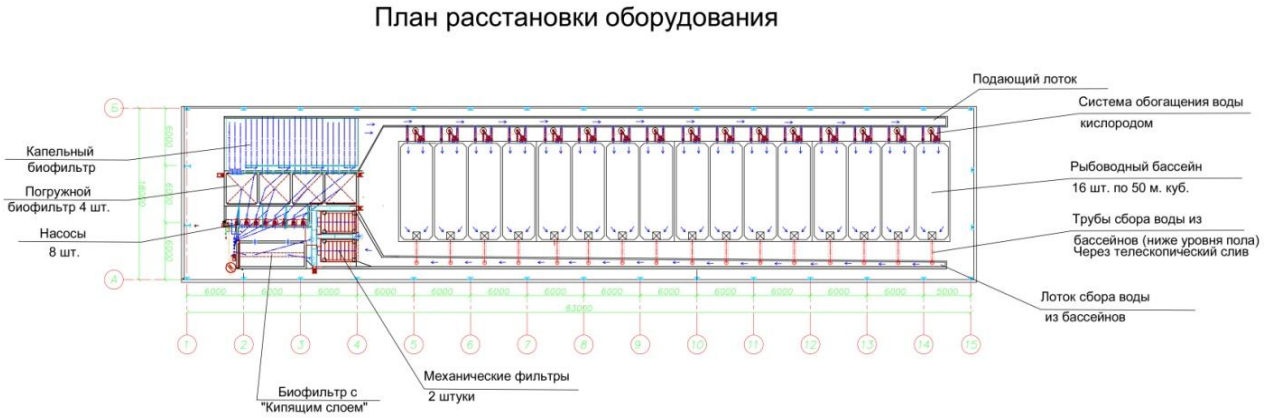


Рис. 6.67. Схема УЗВ с бетонными прямоугольными бассейнами (вариант 5) для выращивания осетровых

Технологическое оборудование комплекса располагается в здании размером 18×83 м, площадь здания – 1494 м^2. Высота здания в осях 1–15 может быть 3 м.

Мощность планируемого предприятия:

1) 50 т товарной рыбы в год;

2) содержание ремонтно-маточного стада стерляди в количестве 5 т.

В здании установлена одна УЗВ (рис. 6.68–6.74).

Состав системы: рыбоводные бассейны объемом 50 м^3 каждый – 16 шт. Всего в бассейнах 800 м^3 воды. 14 бассейнов для выращивания товарной рыбы, 2 бассейна для содержания РМС. Размеры бассейна (в чистоте по воде): 3,4 м – ширина, 10,1 м – длина, толщина слоя воды – 1,5 м.

Рис. 6.68. Рыбоводные бассейны объемом 50 м^3 каждый – 16 шт. Всего в бассейнах 800 м^3 воды

Рис. 6.69. Размеры бассейна (в чистоте по воде): 3,4 м – ширина, 10,1 м – длина, толщина слоя воды – 1,5 м

Рис. 6.70. Лоток сбора воды открытого типа (бетон).
Стрелкой указан телескопический слив совместно и контроль уровня воды в бассейне

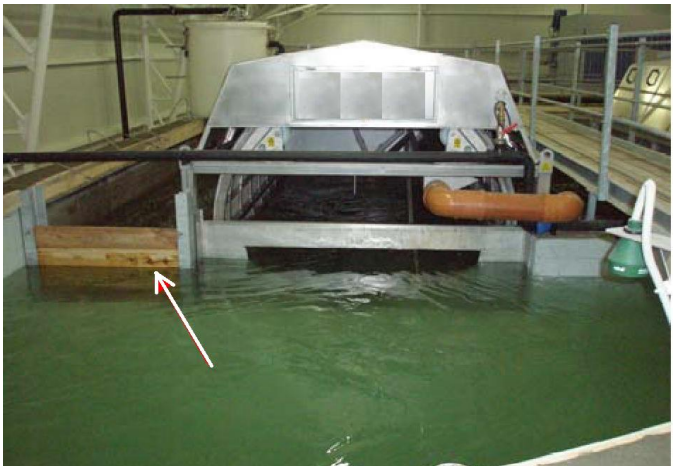


Рис. 6.71. Механический фильтр. Стрелкой указан шандорный перелив (в случае аварии)

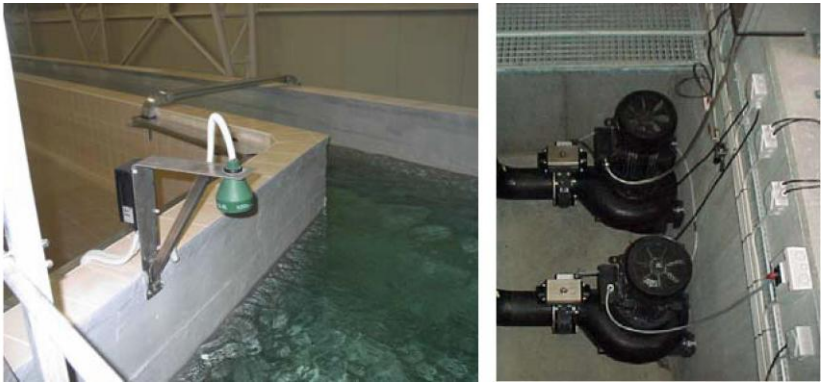


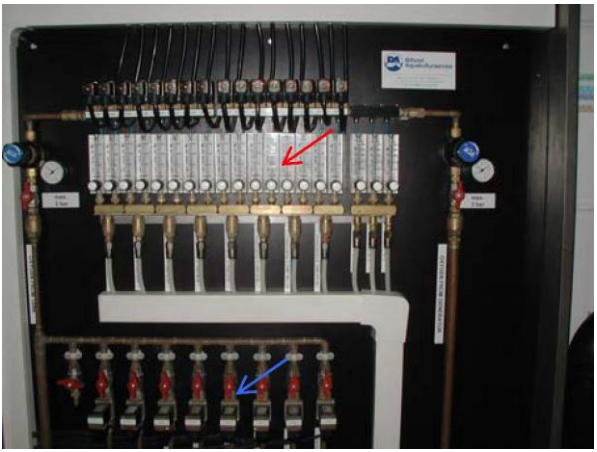
Рис. 6.72. Насосы. В системе установлено 8 одинаковых насосов мощностью по 5 кВт каждый. Работают все одновременно

Рис. 6.73. Биологический фильтр

В системе используется три типа фильтров параллельно: погружной, капельный и биофильтр с кипящим слоем. Все биофильтры способны выдержать нагрузку 400 кг корма в сутки.

Плотность содержания товарной стерляди – до 60 кг на 1 м^3. Содержание РМС стада стерляди – 40–50 кг/м^3.

а



б

Рис. 6.74. Система насыщения воды кислородом

Из вариантов использования бетонных бассейнов овальной формы, на наш взгляд, наиболее удачное решение выполнено при конструировании УЗВ, схема и фотографии бассейнов которой представлены на рис. 6.75–6.77.

Рис. 6.75. Бетонный бассейн овальной формы

Рис. 6.76. УЗВ с бетонными бассейнами овальной формы

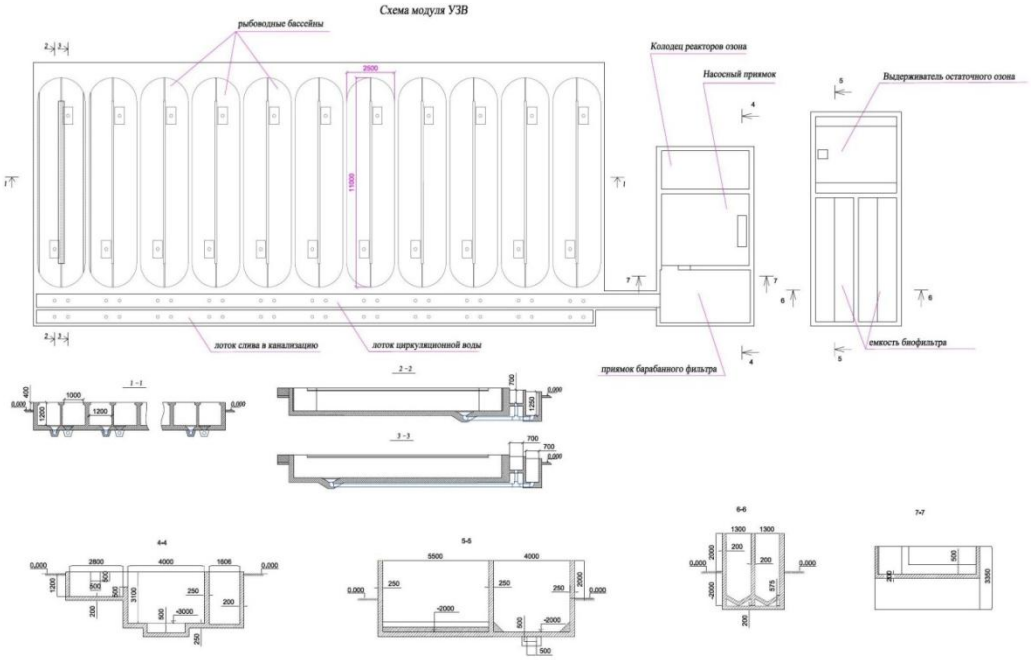


Рис. 6.77. Схема модуля УЗВ с бетонными бассейнами овальной формы

К числу проектов, заслуживающих внимания в качестве перспектив развития белорусской аквакультуры, можно отнести следующие:

проект форелевой УЗВ из Дании на 4 000 т (рис. 6.78–6.81);

адаптированый проект из Дании по модернизации бывшего отстойника из очистных сооружений городской канализации в УЗВ по выращиванию форели (рис. 6.82–6.84);

комбинированную (двухэтажную) УЗВ из Чехии: первый уровень – канальные бетонные бассейны для выращивания товарной рыбы, второй уровень – круглые бассейны для выращивания мальков (рис. 6.85–6.86).

Рис. 6.78. Строительство УЗВ с бетонными бассейнами круглой формы. Проектная мощность фермы – 4000 т в год. Максимальная плотность посадки в один большой бассейн – до 500 т на бассейн (Danish salmon, Хиртсшальс, Дания)

Рис. 6.81. Вид изнутри на производственный бассейн
(Danish salmon, Хиртсшальс, Дания)

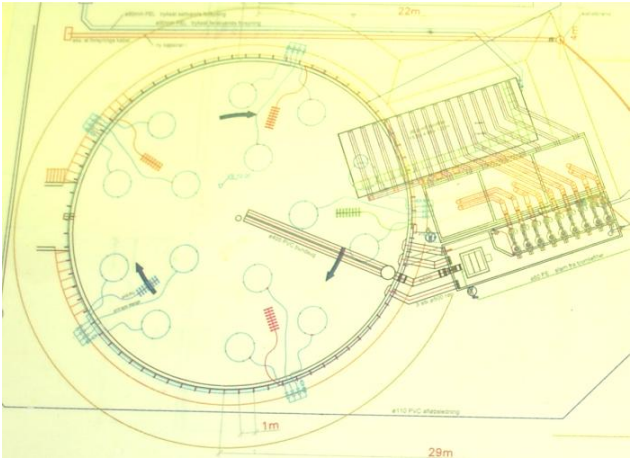


Рис. 6.82. Адаптированый проект по модернизации бывшего отстойника очистных сооружений городской канализации в УЗВ по выращиванию форели
(Институт водных ресурсов Датского технического университета, Хиртсшальс, Дания)

Рис. 6.83. Модернизированный бассейн форелевой УЗВ
(Институт водных ресурсов Датского технического университета, Хиртсшальс, Дания)

Рис. 6.84. Биологический фильтр в виде пристройки к модернизированному бассейну форелевой УЗВ (Институт водных ресурсов Датского технического университета, Хиртсшальс, Дания)

Рис. 6.85. Комбинированная (двухэтажная) УЗВ из Чехии:
первый уровень – канальные бетонные бассейны для выращивания товарной рыбы,
второй уровень – круглые бассейны для выращивания мальков

Рис. 6.86. Опора второго уровня на стенки бетонных бассейнов первого уровня

Необходимо отдельно выделить сегмент так называемых мини-УЗВ, предназначенных для выращивания рыбы в подсобных хозяйствах в целях декоративного рыбоводства, передержки, проведения научных исследований и др. (рис. 6.87–6.91).

Рис. 6.87. Исследовательская мини-УЗВ факультета рыболовства и охраны вод Южночешского университета (Чехия)

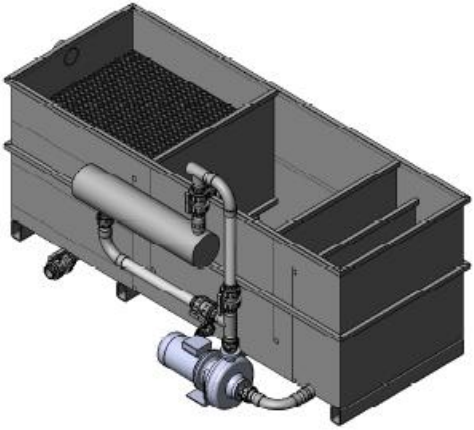


Рис. 6.88. Мини-УЗВ фирмы Fischtechnik International Engineering GmbH (Германия)

Рис. 6.89. Передвижной инкубационный мини-модуль на базе автомобильного прицепа (вид снаружи) (Институт рыбного хозяйства, Ольштын, Польша)

Рис. 6.90. Передвижной инкубационный мини-модуль на базе автомобильного прицепа (вид внутри) (Институт рыбного хозяйства, Ольштын, Польша)

Рис. 6.91. Научная УЗВ для исследований в области кормления рыб компании Biomar (Хиртсшальс, Дания)

Интересным может также являться предложение в рамках сегмента мини-УЗВ от фирмы Fischtechnik International Engineering GmbH (рис. 6.92).

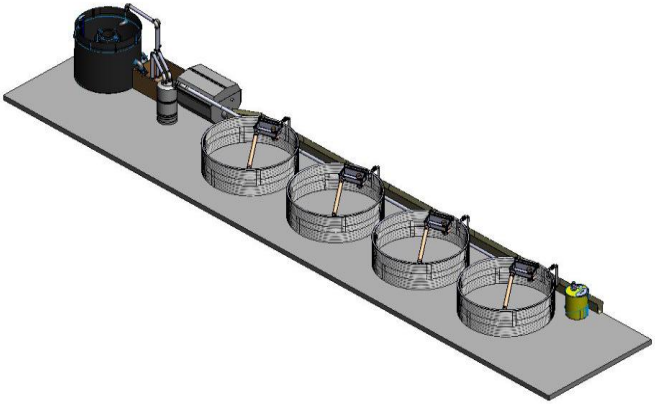


Рис. 6.92. Модуль типа FTIE 10 для выращивания рыбы в условиях УЗВ

Комплектация модуля типа FTIE 10 для выращивания рыбы в условиях УЗВ:

4 бассейна объемом 15,7 $м^3$ каждый (из листового «волнистого» металла с пленкой внутри);

барабанный фильтр для механической очистки воды;

биореактор (фильтр биологической очистки);

насосный приямок;

4 насоса (1 для обеспечения циркуляции и 1 для подачи воды в биореактор, а также по 1 резервному насосу);

система насыщения воды кислородом (оксигенатор типа Oxytrans 700);

узел ультрафиолетовой дезинфекции;

система стабилизации кислотности (значения pH);

электронная система управления работой УЗВ с аварийной сигнализацией.

При необходимости в зависимости от выращиваемых видов рыб и размеров рыбы могут соответственно применяться бассейны различных размеров и конфигураций.

Технические характеристики и необходимая строительная подготовка:

подпитка водой от артезианской скважины;

наличие источников тепла и электроэнергии;

свободный подъезд к УЗВ;

прокладка всех труб и кабелей до установки;

срок монтажа установки – 21 день;

общая необходимая площадь – около 200 $м^2$;

общий объем воды – около 70 $м^3$;

продуктивный объем воды в установке – около 60 $м^3$;

единовременно содержащееся рыбное стадо общей массой 3 т;

потребляемая электрическая мощность (вся установка) – около 7 кВт·ч;

в бассейнах 1,5–2-кратного водообмена в час;

потребность в подпитке свежей водой – 5–10 %;

насыщение воды кислородом через систему OxyTrans®;

система управления (аварийная сигнализация).

Система управления обеспечивает контроль всех параметров установки (температуры воды, значения pH, содержания кислорода в воде, уровня воды, состояния и пригодности к работе отдельных узлов и агрегатов установки), регулирует подачу и дозировку кислорода, а

также подает аварийный сигнал обслуживающему персоналу установки при отклонении от нормы каких-либо параметров и возникновении критических состояний всей системы или ее отдельных компонентов.

Производственные мощности установки: в зависимости от выращиваемых видов рыб годовая мощность установки составляет от 3 до 10 т. До сих пор подобная установка применялась для выращивания таких видов, как: угорь, европейский окунь, карповые, осетровые, европейский сом, африканский сом (*Clarias*), американский сом, тиляпия, американский лаврак (*Roccus americanus* и *Morona americana*), тюрбо, судак, ряпушка (*Coregonus albula* L.), сиг и латес (*Lates calcarifer*). При выращивании африканского сома, карповых или при применении УЗВ для выращивания посадочной молоди можно достичь годовой производительности до 12 т. Для осетровых данный показатель составляет примерно около 5 т. В принципе, в данной УЗВ возможно выращивание всех видов рыб, которые приучаются к искусственному корму и выдерживают условия интенсивного выращивания.

6.7. Мониторинг биологической очистки в установке замкнутого водоснабжения

Результаты дневного мониторинга массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ в рыбопитомнике в УО БГСХА

В рыбопитомнике УО БГСХА проводился мониторинг степени очистки воды с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов.

Для мониторинга были взяты пробы из цехов № 2, 3 и 4.

Пробы брались на следующих участках: до очистки, после очистки и из бассейнов.

Взятие проб происходило 17.04.2016 г., время взятия в 8:00, 12:00, 15:00 и в 17:00.

Были получены следующие результаты:

1. Результаты мониторинга массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) с 8:00 по 17:00 представлены в табл. 6.6.

Таблица 6.6. **Результаты мониторинга массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно)**

Массовая концентрация аммиака и ионов аммония (суммарно)					
№ цеха	До очистки, мг/дм^3	После очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %	Из бассейна мг/дм^3
8:00					
4	0,3	0,2	0,1	33,3	0,3
3	0,2	0,4	–0,2	нет	0,6
2	0,8	0,6	0,2	25	1
12:00					
4	0,6	0,5	0,1	16,7	0,6
3	0,8	0,4	0,4	50	0,7
2	0,8	0,5	0,3	37,5	0,9
15:00					
4	0,7	0,5	0,2	28,6	0,5
3	0,5	0,7	–0,2	нет	0,6
2	0,9	0,6	0,3	33,3	0,9
17:00					
4	0,5	0,3	0,2	40	0,3
3	0,6	0,4	0,2	33,3	0,5
2	0,5	0,3	0,2	40	0,4

По данным табл. 6.6 можно наблюдать изменения содержания массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) в воде в процессе очистки. В цехах № 4 и № 2 происходит снижение концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) в результате работы биологического фильтра, что свидетельствует об его эффективности. Однако в цехе № 3 периодически наблюдается рост суммарной концентрации аммиака и ионов аммония, что свидетельствует о неудовлетворительной работе биологического фильтра. Это может быть вызвано его загрязнением избыточным илом, что значительно снижает эффективность биологической фильтрации. Средняя эффективность очистки в цеху № 4 – 29,65 %, в цеху № 3 – 41,65 %, в цеху № 2 – 33,95 %. Общая средняя эффективность по цехам 33,77 %.

2. Результаты мониторинга массовой концентрации нитритов с 8:00 по 17:00 представлены в табл. 6.7.

Таблица 6.7. **Результаты мониторинга массовой концентрации нитритов с 8:00 по 17:00**

Массовая концентрации нитритов					
№ цеха	До очистки, мг/дм^3	После очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %	Из бассейна, мг/дм^3
8:00					
4	0,428	0,446	–0,018	нет	0,413
3	0,230	0,273	–0,043	нет	0,281
2	0,435	0,327	0,108	24,83	0,473
12:00					
4	0,390	0,338	0,052	13,33	0,405
3	0,284	0,289	–0,005	нет	0,301
2	0,469	0,346	0,123	26,23	0,485
15:00					
4	0,378	0,292	0,086	22,75	0,365
3	0,289	0,238	0,051	17,65	0,277
2	0,425	0,208	0,217	51,06	0,406
17:00					
4	0,359	0,306	0,053	14,76	0,348
3	0,284	0,254	0,03	10,56	0,265
2	0,467	0,416	0,051	10,92	0,447

По данным табл. 6.7 можно наблюдать изменения содержания массовой концентрации нитритов в воде до очистки и после. В цеху № 2 и № 4 происходит наилучшее снижение концентрации нитритов в результате работы биологического фильтра, что свидетельствует об его эффективности. Однако в цеху № 3 периодически наблюдается рост нитритов, что свидетельствует о недостаточной эффективности работы биологического фильтра. Средняя эффективность очистки в цеху № 4 – 16,94 %, в цеху № 3 – 14,1 %, в цеху № 2 – 28,26 %. Общая средняя эффективность по цехам 21,34 %.

3. Результаты мониторинга содержания нитратов с 8:00 по 17:00 представлены в табл. 6.8.

Таблица 6.8. **Результаты мониторинга содержания нитратов с 8:00 по 17:00**

Нитраты				
№ цеха	До очистки, мг/дм^3	После очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %
12:00				
4	287,55	363,15	–75,6	нет
3	162,68	155,25	7,43	4,57
2	143,57	137,36	6,21	4,33
15:00				
4	184,38	174,15	10,23	5,55
3	149,78	141,32	8,46	5,65
2	143,12	137,41	5,71	3,99
17:00				
4	201,49	213,03	–11,54	нет
3	167,27	177,53	–10,26	нет
2	143,84	137,5	6,34	4,41

По данным табл. 6.8 можно наблюдать изменения содержания нитратов в воде до очистки и после. В 12:00 наблюдается уменьшение концентрации нитратов в цехах № 3 на 4,57 % и № 2 – 4,33 % соответственно, однако в цеху № 4 происходит значительное увеличение концентрации. При следующем взятии пробы в 15:00 происходит снижение концентрации нитратов во всех цехах. Что касается пробы, взятой в 17:00, в цехах № 4, 3 происходит незначительное увеличение концентрации, а в цеху № 2 наблюдается снижение количества нитратов в воде на 4,41.

Подводя итог, можем сказать, что в цеху № 4 наблюдается эффективное разложение массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно), что влияет на концентрацию и эффективность очистки нитритов. Если в результате биологической очистки происходит резкое снижение массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно), то это приводит к резкому увеличению концентрации нитритов в воде, так как нитриты являются конечным продуктом распада аммиака. Поэтому в цеху № 4 при быстром увеличении нитритов можно наблюдать менее эффективное их разложение по причине сильной нагрузки на бактерицидный слой, который не в состоянии справляться с увеличенным содержанием нитритов. Очистка нитратов происходит неэффективно, часто наблюдается увеличение концентрации после очистки, об этом свидетельствуют полученные данные. Однако на концентрацию нитратов еще влияет слабый приток свежей воды в цех,

что ставит под сомнение работу денитрификации. Кроме того, это может быть вызвано загрязнением избыточным илом, что значительно снижает эффективность биологической фильтрации.

В цеху № 3 наблюдается средняя эффективность очистки массовой концентрации минеральных азотсодержащих веществ – аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов. Периодически наблюдается рост концентрации минеральных азотсодержащих веществ во время очистки, что свидетельствует о неудовлетворительной работе биологического фильтра. Это может быть вызвано теми же причинами, что и в цеху № 4.

В цеху № 2 наблюдается интенсивная очистка воды от минеральных азотсодержащих веществ, что означает эффективную биологическую фильтрацию.

Результаты миниторинга массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ в рыбоводных хозяйствах в зависимости от сооружения очистки

Для сравнение интенсивности очистки были взяты пробы в следующих хозяйствах:

1. «Фирма Ремона» (осетровое хозяйство в г. Могилев);
2. Осетровое хозяйство «Василек» в д. Наквасы (Минская обл., Дзержинский р-н);
3. Осетровое хозяйство *Admiral husso* в г. Фанипол;
4. Рыбопитомник УО БГСХА (форелевый рыбопитомник в г. Горки).

Интенсивность очистки воды проводилась с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ – аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов.

Пробы брались на участках:

– до очистки;
– во время очистки;
– после очистки.

Особенности очистки воды в хозяйстве «Фирма Ремона» цеха № 1. Вода из бассейнов подается в механический фильтр, размер микроэкрана в фильтре – 60 микрон, после механического фильтра вода попадает в сумматор, из сумматора часть воды подается в биофильтр.

Плотность загрузки биофильтра – 240 м^2 на м^2, всего загрузки 60 м^3. После биофильтра вода возвращается обратно в сумматор, из сумматора часть воды проходит озонирование (озонатор работает постоянно, мощность озонирования – 15–20 %).

При заборе воды озонатор работал. В этот день осуществлялась выгрузка рыбы из бассейнов, и на момент взятия пробы рыбы в бассейнах уже не было.

Особенности очистки воды в хозяйстве «Фирма Ремона» цеха № 2. Вода из бассейнов подается в механический фильтр, размер микроэкрана в фильтре – 60 микрон, после механического фильтра вода попадает в сумматор, из которого часть воды подается в биофильтр. Плотность загрузки биофильтра – 240 м^2 на м^2, всего загрузки – 60 м^3. После биофильтра вода возвращается обратно в сумматор. Периодически включается озонатор, частота включений озонатора и время его работы зависит от интенсивности кормления и плотности посадки рыбы. Максимальная мощность озонирования – 15 %.

При заборе воды озонатор не работал, кормление было минимальным, загрузка рыбы в бассейнах была небольшой.

Особенности очистки воды в хозяйстве «Василек». Вода из бассейнов подается в механический фильтр, размер микроэкрана в фильтре – 90 микрон. После механического фильтра вода попадает в первое отделение приямка, оттуда и подается в самодельный биофильтр, после которого возвращается во второе отделение приямка. Из приямка идет забор воды в озонатор (озонатор работает постоянно).

Приямок разделен перегородкой на 2 отделения, вода в нем частично смешивается.

На момент взятия пробы в цеху во всех бассейнах находилась рыба.

Особенности очистки воды в осетровом хозяйстве, расположенном в городе Фаниполь. Вода из бассейнов подается в отстойник, откуда идет забор воды в механический фильтр. Размер микроэкрана в фильтре – 40 микрон. После механического фильтра вода попадает в биофильтр (объем биофильтра – 50 м^3), из них загрузка составляет 19 м^3. Вода, прошедшая биофильтр, попадает в следующий отстойник, откуда происходит забор воды для озонирования, мощность озонирования – 5 %.

На момент взятия пробы в цеху находилось не большое количество рыбы.

Особенности очистки воды в рыбопитомнике УО БГСХА. Вода из бассейнов подается в механический фильтр, размер микроэкрана в

фильтре – 20 микрон, после механического фильтра вода попадает в приямок.

Из приямка часть воды подается в горизонтальный фильтр типа «плавучая подушка». Удельная площадь поверхности фильтрующего материала – 800 м/м. После прохождения биофильтра «плавучая подушка» вода попадает обратно в приямок и с помощью насосов подается на верхнюю часть капельного биофильтра, где вода разбрызгивается по поверхности на верху фильтра и проходит вниз через фильтрующий материал, который выступает в качестве биосубстракта. Материал капельного фильтра представляет собой решетчатую конструкцию из полиэтилена с большой удельной площадью поверхности 200 $м^2/м^3$/сутки, чтобы избежать скапливания биопленки, которая может стать причиной закупоривания отверстий. Самоочищение капельного биофильтра обусловлено высокой скоростью прохождения воды сквозь него. После биофильтра вода возвращается обратно в приямок. Из приямка забирается часть воды, которая проходит озонирование (озонатор работает постоянно, мощность озонатора 7–15%).

1. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в хозяйстве «Фирма Ремона» цеха № 1 представленые в табл. 6.9, цеха № 2 – в табл. 6.10.

Таблица 6.9. **Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в хозяйстве «Фирма Ремона» цеха № 1**

Цех № 1. Дата взятия пробы – 12 мая 2016 г.	Вода до очистки, $мг/дм^3$	Вода после очистки, $мг/дм^3$	Эффективность очистк, $мг/дм^3$	Эффективность очистки, %
Нитриты (NO_2)	0,242	0,2133	0,03	12,40
Нитраты (NO_3)	56,23	56,33	–0,1	нет
Аммиак (NH_3/NH_4)	0,8	0,2	0,6	75

По данным табл. 6.9 можно наблюдать изменения в цеху № 1 массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ – аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов – в воде до очистки и после. В исследуемом цеху наблюдается незначительное снижение нитритов и значительное изменение концентрации аммиака после сооружений очистки, что можно объяснить эффективностью работы си-

стемы водоочистки. При этом наблюдается незначительное повышение концентрации нитратов после прохождения биологического фильтра, что можно объяснить тем, что конечной продукцией нитрифицирующих бактерий являются нитраты.

Таблица 6.10. **Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в хозяйстве «Фирма Ремона» цеха № 2**

Цех № 2. Дата взятия пробы – 12 мая 2016 г.	Вода до очистки, мг/дм^3	Вода после очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %	Вода во время очистки, мг/дм^3
Нитриты (NO_2)	0,072	0,061	0,011	23,61	0,055
Нитраты (NO_3)	71,18	73,17	–1,99	нет	72,63
Аммиак (NH_3/NH_4)	0,2	0,2	0	нет	0,2

По данным табл. 6.10 можно наблюдать изменения в цеху № 2 массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ – аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов – в воде до очистки и после. В исследуемом цеху наблюдается значительное снижение нитритов после сооружений очистки, что можно объяснить эффективностью работы системы водоочистки. При этом не наблюдается изменения концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) и повышения концентрации нитратов после прохождения биологического фильтра. Это можно объяснить тем, что во время взятия пробы озонирование воды не происходило, кормление было минимальным из-за небольшой плотности посадки рыбы, что, в свою очередь, привело к недостаточной нагрузке на биологический фильтр.

2. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в хозяйстве «Василек» представлены в табл. 6.11.

Таблица 6.11. **Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в хозяйстве «Василек»**

Дата взятия пробы – 23 мая 2016 г.	Вода до очистки, мг/дм^3	Вода после очистки, мг/дм^3	Эффективность очистк, мг/дм^3	Эффективность очистки, %	Вода во время очистки, мг/дм^3
Нитриты (NO_2)	0,15	0,022	0,128	85,33	0,25
Нитраты (NO_3)	114,75	56,9	57,85	50,41	60,31
Аммиак (NH_3/NH_4)	1	0,8	0,2	20	0,5

По данным табл. 6.11 можно наблюдать изменения в хозяйстве «Василек» массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в воде до очистки и после. В исследуемом хозяйстве наблюдается значительное снижение аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов, и нитратов после сооружений очистки, что говорит об эффективности работы системы водоочистки. Значительное снижение нитратов можно еще объяснить тем, что в хозяйстве происходит достаточный ввод свежей воды в биофильтр.

3. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в осетровом хозяйстве *Admiral husso* в г. Фаниполь представленные в табл. 6.12.

Таблица 6.12. **Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в осетровом хозяйстве *Admiral husso* в г. Фаниполь**

Дата взятия пробы – 23 мая 2016 г.	Вода до очистки, мг/дм^3	Вода после очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %	Вода во время очистки, мг/дм^3
Нитриты (NO_2)	0,0054	0,0122	–0,0068	нет	0,0351
Нитраты (NO_3)	12,623	12,12	0,503	3,99	12,49
Аммиак (NH_3/NH_4)	0	0	0	нет	0

По данным табл. 6.12 можно наблюдать изменения в хозяйстве в г. Фаниполь массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в воде до очистки и после. В рассматриваемом хозяйстве наблюдается

незначительное уменьшение концентрации нитратов после сооружений очистки. Это можно объяснить эффективностью работы системы водоочистки. При этом наблюдается небольшое увеличение концентрации нитритов и отсутствуют изменения аммиака и ионов аммония (суммарно) после прохождения биологического фильтра. Это можно объяснить тем, что в хозяйстве содержалось минимальное количество рыбы и практически отсутствовало ее кормление.

4. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в рыбопитомнике УО БГСХА представленные в табл. 6.13.

Таблица 6.13. **Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в рыбопитомник УО БГСХА в цеху № 4**

Пробы из рыбопитомника УО БГСХА	Вода до очистки, мг/дм^3	Вода после очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, мг/дм^3	Эффективность очистки, %
Нитриты (NO_2)	0,378	0,2916	0,086	22,75
Нитраты (NO_3)	184,38	174,15	10,23	5,55
Аммиак (NH_3/NH_4)	0,7	0,5	0,2	28,57

По данным табл. 6.13 можно наблюдать изменения в рыбопитомнике УО БГСХА массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов, нитратов) в воде до очистки и после. В исследуемом хозяйстве наблюдается значительное уменьшение концентрации веществ после сооружений очистки, что можно объяснить эффективностью работы системы водоочистки. При этом наблюдается незначительное уменьшение концентрации нитратов. Это можно объяснить тем, что в хозяйстве происходит малый приток свежей воды.

Сведем полученные данные по эффективности очистки (%) минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в вышеперечисленных рыбоводных хозяйствах в зависимости от сооружения очистки в сводную табл. 6.14.

Таблица 6.14. **Сводная информация по эффективности очистки (%) минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) в рыбоводных хозяйствах в зависимости от сооружения очистки**

Показатели	«Фирма Ремона» цех № 1, %	«Фирма Ремона» цех № 2, %	УО БГСХА цех № 4, %	«Василек», %	*Admiral husso*, %
Нитриты (NO_2)	12,40	23,61	22,75	85,33	нет
Нитраты (NO_3)	нет	нет	5,55	50,41	3,99
Аммиак (NH_3/NH_4)	75	нет	28,57	20	нет

В результате проведенного анализа эффективности очистки воды от массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ, представленного в табл. 6.14, видно, что система биологической водоочистки в хозяйстве «Василек» наиболее эффективная, следующим хозяйством по качеству водоочистки является УО БГСХА цех № 4.

Мониторинг за развитием бактерий при запуске биофильтров в аквариумах с различными загрузками

Наблюдения проводились с 18.04.2016 г. по 23.05.2016 г. В четыре аквариума объемом 57 л вносились следующие вещества: в аквариум № 3 вносился 15%-ный раствор хлористого аммония; в аквариум № 4 вносился корм марки «Coppens» размером 2,0 мм (предварительно измельченный); в аквариум № 21 была внесена биологическая добавка «Filterstarter Bakterien»; аквариум под номером 0 являлся контрольной пробой (табл. 6.15).

Во всех аквариумах был установлен биофильтр с инжекторной подачей воздуха.

Мониторинг степени очистки воды проводился с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов.

Количество и объем вносимых веществ представлен в таблице № 2.1. По данным этой таблице можно наблюдать, что в аквариум № 21 была единожды внесена биологическая добавка в начале опыта, в отличие от аквариумов № 4 и 3, в которые вносились вещества в течение всего опыта.

Таблица 6.15. **Схема исследований по определению азотных веществ при различных способах запуска биологического фильтра**

№	Дата	Аквариум № 4, г корма	Аквариум № 3, 15%-ный раствор хлористого аммония/мл	Аквариум № 21, биологическая добавка/г
1	18.04.2016	5,7	4,56	0,380
2	19.04.2016	10,26	9,12	
3	20.04.2016	15,39	13,68	
4	21.04.2016	20,52	18,24	
5	22.04.2016	26,22	22,8	
6	23.04.2016	30,78	27,36	
7	25.04.2016	35,91	31,92	
8	26.04.2016	41,04	36,48	
9	27.04.2016	46,17	41,04	
10	28.04.2016	51,3	45,6	
11	29.04.2016	57	50,16	
12	30.04.2016	62,7	54,72	
13	02.05.2016	67,26	59,28	
14 – 20	03.05.2016 – 11.05.2016	74,1	68,4	

Результаты исследований сравнения различных методов запуска биологического фильтра

Результаты мониторинга представлены на рис. 6.93, 6.94 и 6.95. На данных рисунках можно наблюдать изменения концентрации минеральных азотсодержащих веществ в аквариумах с 18.04.16 г. по 23.05.16 г. при средней температуре 16–18 ^{o}C.

По данным рис. 6.93 можно наблюдать изменение концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) при добавлении 15%-ного хлористого аммония. На второй день после запуска наблюдался резкий скачок концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно), который достиг своего предельного значения равного 10 мг/дм^3, в период с 19.04.16 г. по 21.04.16 г. После 21.04.16 г. наблюдается постепенный спад его концентрации. При падении концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) произошло резкое увеличение концентрации нитритов с 0,1188 до 14 мг/дм^3, и далее наблюдалось постепенное его увеличение. 27.04.16 г. произошел резкий скачек концентрации нитритов с 16 до 30 мг/дм^3 и нитратов с 2,7675 по 12,62 мг/дм^3 за счет падения концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) с 5 до 0,8 мг/дм^3. Однако

стоит отметить, что концентрация нитритов после скачка стала постепенно уменьшаться до 21,34 мг/дм^3 и достигла своего значения 03.05.16 г., потом наблюдался резкий рост и постепенное падение. В свою очередь концентрация нитратов после скачка резко упала до 3,814 мг/дм^3 и продолжила постепенно расти.

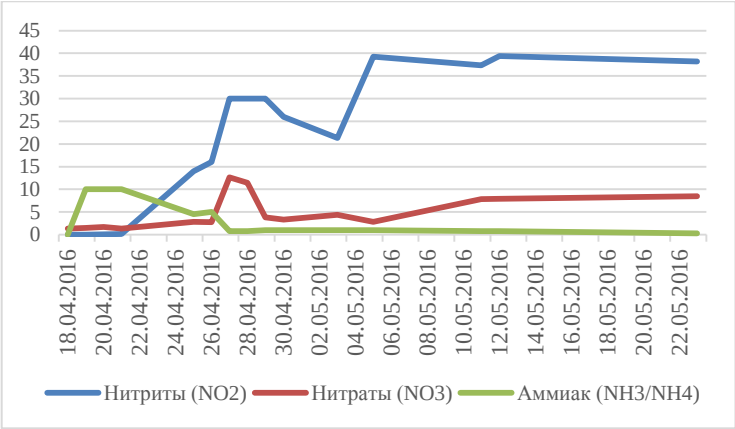


Рис. 6.93. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) с добавлением 15%-ного хлористого аммония

Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) при добавлении корма «Coppens» размером 2,0 мм можно наблюдать на рис. 6.94. На 8-й день опыта произошел резкий скачет концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) с 0,8 до 8 мг/дм^3, что повлекло спад концентрации нитритов с 0,242 до 0,091 мг/дм^3 и слабое увеличение нитратов с 0,51 до 0,68 мг/дм^3. 27.04.16 г. произошло резкое падение аммиака и ионов аммония (суммарно) с 8,5 до 0,8 мг/дм^3, что повлекло за собой рост нитритов с 0,107 до 0,3 мг/дм^3 и нитратов с 0,844 по 2,261 мг/дм^3. Далее с 30.04.16 г. можно наблюдать постепенное падении концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов до 05.05.16 г. Однако затем происходит резкое увеличении концентрации нитратов за счет достижения предельного минимального значения концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) и нитритов.

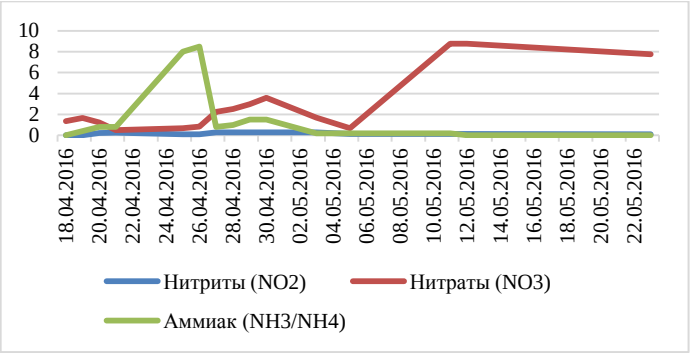


Рис. 6.94. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) с добавлением корма «Coppens» размером 2,0 мм

Под данным рис. 6.95 можно наблюдать изменение концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов) с добавлением биологической добавки Filterstarter Bakterien. На второй день опытов произошло снижение концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) с 0,3 до 0,2 мг/дм^3, что повлекло рост концентрации нитритов с 0,004 до 0,046 мг/дм^3 и нитратов с 1,35 до 1,86 мг/дм^3. Впоследствии наблюдается постепенное снижение аммиака и ионов аммония (суммарно) и нитритов, что влечет за собой постепенное скачкообразное увеличение концентрации нитратов.

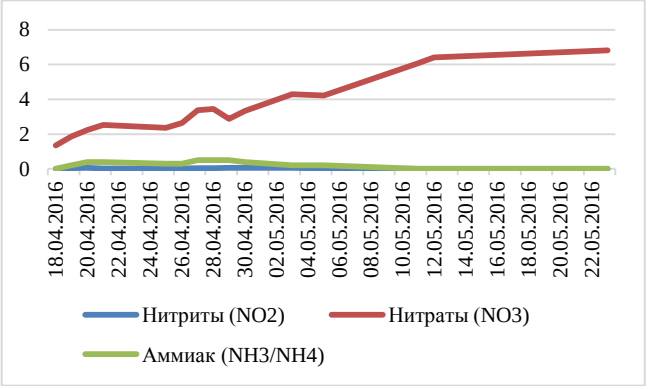


Рис. 6.95. Результаты мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов с добавлением биологической добавки Filterstarter Bakterien

В результате мониторинга концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов при проведении опытов) с внесением различных веществ (15%-ного хлористого аммония, корма «Coppens» размером 2,0 мм и биологической добавки Filterstarter Bakterien) для ускорения запуска биофильтра можно сделать вывод, что при внесении биологической добавки Filterstarter Bakterien наблюдалось наилучшее развитие нитрифицирующих бактерий.

Таким образом, исследование степени очистки воды проводилось с применением фотометрического метода определения массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ на базе рыбопитомника УО БГСХА. Для исследования были взяты пробы из цеха № 2, 3 и 4. Пробы брались на следующих участках: до очистки, после очистки и из бассейнов.

Результаты исследования показали, что в цеху № 4 наблюдалось эффективное разложение массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно), что влияет на концентрацию и эффективность очистки нитритов. Если происходит резкое снижение массовой концентрации аммиака и ионов аммония (суммарно) в результате биологической очистки, то это приводит к резкому увеличению концентрации нитритов в воде. Поэтому в цеху № 4 при быстром увеличении нитритов можно наблюдать менее эффективное их разложение по причине сильной нагрузки на бактерицидный слой, который не в состоянии справляться с увеличенным содержанием нитритов. Очистка нитратов происходит неэффективно, часто наблюдалось увеличение концентрации после очистки. Это может быть вызвано загрязнением избыточным илом, что значительно снижает эффективность биологической фильтрации, а также слабым притоком свежей воды в цех.

В цеху № 3 наблюдалась средняя эффективность очистки массовой концентрации минеральных азотсодержащих веществ (аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов). Периодически наблюдался рост концентрации минеральных азотсодержащих веществ во время очистки, что свидетельствует о неудовлетворительной работе биологического фильтра. Это может быть вызвано теми же причинами, что и в цеху № 4.

В цеху № 2 наблюдалась интенсивная очистка воды от минеральных азотсодержащих веществ, что означает эффективную биологическую фильтрацию.

Исследование интенсивности очистки воды в зависимости от сооружения очистки проводилось на базе 4 хозяйств Беларусь, а именно: «Фирма Ремона» (осетровое хозяйство в г. Могилев), осетровое хозяй-

ство «Василек» в д. Наквасы (Минская обл., Дзержинский р-н), осетровое хозяйство в г. Фаниполь, рыбопитомник УО БГСХА (форелевый рыбопитомник в г. Горки). Оценка интенсивности очистки воды проводилась с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ – аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов. Пробы брались на следующих участках: до очистки, во время очистки, после очистки. Проведенный анализ показал, что система биологической водоочистки от массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ в хозяйстве «Василек» наиболее эффективная, следующим хозяйством по качеству водоочистки является УО БГСХА цех № 4.

Также были проведены сравнительные исследования различных методов запуска биологического фильтра. Исследования проводись в период с 18.04.2016 г. по 23.05.2016 г. В четыре аквариума объемом 57 л вносились следующие вещества: 15%-ный раствор хлористого аммония, корм марки «Coppens» размером 2.0 мм (предварительно измельченный), биологическая добавка Filterstarter Bakterien. Во всех аквариумах был установлен биофильтр с инжекторной подачей воздуха. Мониторинг степени очистки воды проводился с применением фотометрического метода. По результатам исследований можно сделать вывод, что при внесении биологической добавки Filterstarter Bakterien наблюдалось наилучшее развитие нитрифицирующих бактерий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А будет ли осетр? / И. А. Баранникова [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 48–50.

2. Алякринская, И. О. Количественная характеристика крови молоди осетровых в связи с их жизнестойкостью / И. О. Алякринская // Эколого-физиологические особенности крови рыб. – М.: Наука, 1968. – С. 25–28.

3. Аминева, В. А. Физиология рыб / В. А. Аминева. – М.: Легкая и пищевая промсть, 1984. – 200 с.

4. Аппараты магнитолазерные терапевтические «Сенс». Руководство по эксплуатации. – 100217336.002 РЭ. – 2005. – 31 с.

5. Асимов, М. М. Лазерно-индуцированная фотодиссоциация комплексов гемоглобина и миоглобина с кислородом (O_2) и моноксидом углерода (CO) / М. М. Асимов // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы междунар. конф. – Минск, 2004. – Т. 2. – С. 305.

6. Багров, А. М. Что происходит с осетрами и вокруг них? / А. М. Багров, В. М. Воронин // Рыбное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 42–46.

7. Байбеков, И. М. Клеточные основы лазерных воздействий на биоткани / И. М. Байбеков, М. И. Байбекова // Лазер и здоровье – 99: материалы Междунар. конгр., Москва, 8–10 дек. 1999 г. / Гос. науч. центр лазер. медицины Минздрава России. – М., 1999. – С. 422–423.

8. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах / Н. В. Барулин // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. – 2015. – № 3. – С. 107–111.

9. Барулин, Н. В. Ультразвуковая диагностика осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси / Н. В. Барулин, А. П. Курдеко // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. – Вып. 28. – Минск, 2012. – С. 30–42.

10. Барулин, Н. В. Качество товарной рыбной продукции, выращенной в различных экологических условиях / Н. В. Барулин, А. И. Козлов // Научный поиск молодежи XXI века: материалы VIII Междунар. науч. конф. студентов и магистрантов. – Горки, 2006. – Ч. 1. – С. 15–17.

11. 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.

12. Барулин, Н. В. Восстановление популяции европейского осетра и перспективы его вселения в реки Беларуси [Электронный ресурс] / Н. В. Барулин. – Режим доступа: http://nft.by/index.php?name=Pages&op=page&pid=15&pagenum=1. – Дата доступа: 03.07.2016.

13. 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 Беларуси. – Минск, 2008. – Вып. 24. – С. 46–51.

14. Барулин, Н. В. Жаброногий рачок Artemia salina L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, В. А. Орлович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. – Вып. 28. – Минск, 2012. – С. 42–50.

15. Барулин, Н. В. Комплекс диагностического мониторинга физиологического состояния ремонтно-маточных стад осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения / Н. В. Барулин // Вест. Гос. полярной акад. – 2014. – № 1(18). – С. 19–20.

16. Барулин, Н. В. Лазерно-оптические приборы для повышения эффективности инкубации икры ценных видов рыб в рыбоводных индустриальных комплексах / Н. В. Барулин [и др.] // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2015. – № 4(19). – С. 3–7.

17. Барулин, Н. В. Применение лазерного излучения низкой интенсивности в технологии воспроизводства осетровых рыб / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Вопросы рыбного хозяйства: сб. науч. тр. – Вып. 25. – Минск, 2009. – С. 49–56.

18. Барулин, Н. В. Роль установок замкнутого водоснабжения в восстановлении естественной популяции *Acipenser ruthenus* / Н. В. Барулин, А. И. Козлов // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: тезисы междунар. науч.-практ. студ. конф. – Т. 3. – Гродно, 2005. – С. 211–212.

19. Барулин, Н. В. Способ обработки спермы осетровых рыб / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2014. – № 4(15). – С. 30–35.

20. 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(10). – С. 14–18.

21. Белоусов, А. Н. Значение искусственного воспроизводства в сохранении запасов ценных промысловых рыб России / А. Н. Белоусов, И. А. Баранникова. – Рыбное хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 50–54.

22. Бессарабов, Б. Ф. Лазерное прединкубационное облучение яиц и естественная резистентность птицы / Б. Ф. Бессарабов, Е. Б. Петров // Ветеринария. – 1983. – № 6. – С. 25–26.

23. Блинков, Б. В. Особенности выращивания русского осетра (*Acipenser gueldenstadtii*) в установке замкнутого водообеспечения в товарном хозяйстве «Anna caviar» / Б. В. Блинков, О. Н. Загребина // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». – 2013. – № 3 – С. 141–145.

24. Богерук, А. К. Инновации – важнейший фактор стратегического развития аквакультуры в России / А. К. Богерук // Рыбное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 13–16.

25. Богров, А. М. Что происходит с осетрами и вокруг них? / А. М. Богров, В. М. Воронин // Рыбное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 42–46.

26. Болтушкина, Т. Н. Изменчивость рубцовых простейших у коров при лазерном облучении / Т. Н. Болтушкина, Д. В. Шестаков // Молочное и мясное скотоводство. – 2006. – № 8. – С. 30–31.

27. Булякова, Н. В. Влияние гелий-неонового лазера в разных режимах облучения на клетки роговицы после действия ионизирующей радиации / Н. В. Булякова // Докл. академ. наук СССР. – 1984. – Т. 279, № 2. – С. 499–501.

28. Васильева, Л. М. Биологические и технологические особенности товарной аквакультуры осетровых в условиях Нижнего Поволжья / Л. М. Васильева. – Астрахань: БИОС, 2001. – 190 с.

29. Васильева, Л. М. Лечебные и профилактические мероприятия при выращивании осетровых / Л. М. Васильева, Т. А. Ноякшева. – Астрахань: НЦП «БИОС», 2000. – 15 с.

30. Васильева, Л. М. Основные направления российского осетроводства / Л. М. Васильева, Н. В. Судакова // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 4 . – С. 19–21.

31. Вещев, П. В. Пополнение запасов севрюги Волго-Каспия от естественного воспроизводства / П. В. Вещев / Осетровые на рубеже XXI века: тезисы докладов Междунар. конф., Астрахань, 11–15 сент. 2000 г. / Касп. НИИ рыб. хоз-ва; редкол.: Л. М. Васильева [и др.]. – Астрахань, 2000. – С. 41–42.

32. Винатеа, Л. Философия аквакультуры / Л. Винатеа // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 54– 57.

33. Винберг, Г. Г. Скорость роста и интенсивность обмена у животных / Г. Г. Винберг // Успехи современной биологии. – 1966. – Т. 61, вып. 2. – С. 274–293.

34. Виноградов, В. К. Концепция развития пресноводной аквакультуры России / В. К. Виноградов // Рыбное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 32–34.

35. Виноградов, В. К. Рыбоводство России: перспективы развития / В. К. Виноградов // Рыбное хозяйство. – 1994. – №. 1. – С. 9–11.

36. Владимиров, Ю. А. Лазерная терапия: настоящее и будущее / Ю. А. Владимиров // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 12. – С. 2–8.

37. Влияние колебаний концентрации кислорода в воде на рост и энергетику рыб / А. С. Константинов [и др.] // Вопросы ихтиологии. – 1998. – Т. 38, № 3. – С. 381–387.

38. Влияние непрерывного и модулированного лазерного излучения на активность ферментов обмена глутаминовой кислоты в тканях крыс / А. Т. Пикулев [и др.] // Радиобиология. – 1986. – Т. 26, № 5. – С. 712–714.

39. Влияние электромагнитных излучений на раннее развитие морского ежа Strongylocentrotus intermedius / Д. Ю. Шкуратов // Биология моря. – 1998. – Т. 24. – № 4. – С. 236–239.

40. Галич, Е. В. Эколого-морфологические особенности развития осетровых рыб р. Кубань в раннем онтогенезе при антропогенной нагрузке: автореф. дис. … канд. биол. наук / Е. В. Галич. – Астрахань, 2004. – 25 с.

41. Гамалея, Н. Ф. Лазеры в эксперименте и клинике / Н. Ф. Гамалея. – М.: Медицина, 1972. – 232 с.

42. Герасимов, Ю. Л. Основы рыбного хозяйства: учеб. пособие / Ю. Л. Герасимов. – Самара : Самарский ун-т, 2003. – 108 с.

43. Гершанович, А. Д. Экология и физиология молоди осетровых / А. Д. Гершанович, В. А. Пегасов, М. И. Шатуновский. – М.: Агропромиздат, 1987. – 215 с.

44. Гинзбург, А. С. Развитие зародышей осетровых рыб (созревание яиц, оплодотворение и эмбриогенез) / А. С. Гинзбург, Т. А. Детлаф. – М.: Наука, 1969. – 134 с.

45. Гордиенко, О. Л. Выращивание молоди белуги / О. Л. Гордиенко. – М.: Гос. изд-во Мин. легкой и пищ. пром-ти, 1953. – 82 с.

46. Григорьев, С. С. Индустриальное рыбоводство: учеб. пособие / С. С. Григорьев, Н.А. Седова; под ред. Г. Ф. Майорова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. – Ч. 2: Интенсивное разведение рыбы в индустриальных условиях. – 353 с.

47. Давыдов, О. Н. Патология крови рыб / О. Н. Давыдов, Ю. Д. Темниханов, Л. Я. Куровская. – Инкос, 2006. – 206 с.

48. Данные FAO открытого доступа. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL.

49. Данные FAO открытого доступа. http://www.fao.org/fishery/statistics/global–aquaculture–production/query/ru.

50. Детлаф, Т. А. Зародышевое развитие осетровых рыб (севрюги, осетра и белуги) в связи с вопросами их разведения / Т. А. Детлаф, А. С. Гинзбург. – М.: Академ. наук СССР, 1954. – 216 с.

51. Детлаф, Т. А. Развитие осетровых рыб: созревание яиц, оплодотворение, развитие зародышей и предличинок / Т. А. Детлаф, А. С. Гинзбург, О. И. Шмальгаузен. – М.: Наука, 1981. – 224 с.

52. Жуков, П. И. Рыбы Белоруссии / П. И. Жуков. – Минск, 1965. – 415 с.

53. Жуков, П. И. Справочник по ихтиологии, рыбному хозяйству и рыболовству в водоемах Беларуси / П. И. Жуков. – Минск: Тонпик, 2004. – Т. 1. – 284 с.

54. Журавлева, О. Л. Формирование численности и запасов осетра р. Волги в конце XX столетия / О. Л Журавлева // Осетровые на рубеже XXI века: тезисы докладов Междунар. конф., Астрахань, 11–15 сент. 2000 г. / Касп. НИИ рыб. хоз-ва; редкол.: Л. М. Васильева [и др.]. – Астрахань, 2000. – С. 54–56.

55. Заделенов, В. А. Сохранение и воспроизводство стерляди енисейской популяции – перспективного объекта осетрового хозяйства России / В. А. Заделенов // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 86–89.

56. Задорожная, Н. А. О чувствительности молоди осетровых рыб к некоторым лечебным препаратам / Н. А. Задорожная // Проблемы развития пресноводной аквакультуры. Всероссийское совещание. – М.: ВНИИПРХ, 1993. – С. 40–41.

57. Залесская, Г. А. Взаимодействие низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) с кровью / Г. А. Залеская [и др.] // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы междунар. конф. – Т. 1. – Минск, 2004. – С. 152.

58. Захаров, С. Д. Светокислородный эффект – физический механизм активации квазимонохроматическим излучением / С. Д. Захаров, А. В. Иванов. – М., 2006. – 50 с. – (Препринт / Рос. академ. наук, Физический ин-т им. П. Н. Лебедева; № 1).

59. Земков, Г. В. Ретроспективные и современные данные изучения кумулятивного токсикоза у рыб / Г. В. Земков, Г. Ф. Журавлева // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 1. – С. 31–36.

60. Земков, Г. В. Теоретические аспекты эпигенного наследования в процессе регенерации в печени каспийских осетровых / Г. В. Земков, Г. Ф. Журавлева // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 3. – С. 32–34.

61. Зубкова, С. М. Действие гелий-неонового лазера на окислительно-восстановительные процессы в митохондриях / С. М. Зубкова, О. А. Крылов // Вопросы экспериментальной и клинической физиотерапии. – 1976. – Т. 32. – С. 18–19.

62. Иванова, Н. Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб) / Н. Т. Иванова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 64 с.

63. Ивановский, Ю. А. Радиационный гормезис, радиационная стимуляция или гиперфункциональный эффект ионизирующего облучения? / Ю. А. Ивановский // Радиобиология. –1993. – Т. 33, № 2. – С. 760–763.

64. Ивановский, Ю. А. Стимулирующее действие γ-облучения и алкилирующих соединений на жаброногого рака *Artemia salina*. Сообщение 1. Стимуляция продолжительности жизни, выклюнувшихся из облученных или обработанных алкилирующими соединениями цист *A. salina* / Ю. А. Ивановский // Радиобиология. – 1980. – Т. 20, № 1. – С. 62–69.

65. Ивашкин, Е. Г. VI Европейская конференция по биологии развития и генетике данио и других костистых рыб / Е. Г. Ивашкин // Отногенез – 2010. – Т. 41, № 3. – С. 236–238.

66. Изменение физиологического состояния осетровых рыб при хроническом токсикозе / П. П. Гераскин [и др.] // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: результаты НИР за 1999 год. – Астрахань: КаспНИРХ, 2000. – С. 283–295.

67. Илларионов, В. Е. Основы лазерной терапии / В. Е. Илларионов. – М.: Респект, 1992. – 122 с.

68. Илларионов, В. Е. Техника и методики процедур лазерной терапии: справочник / В. Е. Илларионов. – М.: Лазер маркет, 1994. – 178 с.

69. Индуцированные лазером биоэффекты в эритроцитах, осуществляющиеся через молекулярный кислород / С. Д. Захаров [и др.] // Действие электромагнитного излучения

на биологические объекты и лазерная медицина: сб. науч. ст. / АН СССР, Дальневост. отд-ние; отв. ред. В. И. Ильичев. – Владивосток, 1989. – С. 52–69.

70. Иноземцев, В. П. Лазеры – в ветеринарную практику / В. П. Иноземцев, И. И. Балковой // Ветеринария. – 1997. – № 4. – С. 3–6.

71. Инструкция по использованию артемии в аквакультуре: утв. М-вом с.-х. хозяйства Рос. Фед. 15.09.2000. – Тюмень, 2000. – 57 с.

72. Инюшин, В. М. Лазерный свет и живой организм / В. М. Инюшин. – Алма-Ата: Казахстан, 1970. – 46 с.

73. Использование низкоинтенсивного лазерного излучения в животноводстве: метод. рекомендации / А. Ф. Трофимов [и др.]. – Гродно, 2003. – 76 с.

74. Исследование влияния лазерного излучения на раннее развитие вьюна / О. В. Аверьянова [и др.] // Весн. Моск. гос. ун-та. Сер. 16, Биология. – 1991. – № 1. – С. 34–40.

75. Казимирко, В. К. О субклеточных механизмах воздействия лазерного излучения / В. К. Казимирко, Н. Н. Клодченко // Лазерная и магнитная терапия в экспериментальных и клинических исследованиях: тезисы докладов Всерос. симпоз.: в 2 ч., Обнинск, 14–16 мая 1993 г. / Рос. акад. мед. наук; редкол.: М. А. Каплан (отв. ред.). – Обнинск, 1993. – С. 32–34.

76. Карпюк, М. И. Развитие аквакультуры – важный фактор сохранения водных биоресурсов Каспийского моря / М. И. Карпюк, М. В. Михайлова, А. Ю. Мажник // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 6.

77. Кару, Т. Й. // Успехи современной биологии. – 2001. – Т. 121, № 1. – С. 110–120.

78. Кару, Т. Й. Универсальный клеточный механизм лазерной биостимуляции: фотоактивация фермента дыхательной цепи цитохром-с-оксидазы / Т. Й. Кару // Современные лазерно-информационные и лазерные технологии: сб. науч. ст. / Ин-т проблем лазер. и информ. технологий; под ред. В. Я. Панченко, В. С. Голубева. – М.: Наука, 2005. – С. 131–143.

79. Кару, Т. Й. Эффект подавления окислительного метаболизма клеток импульсным излучением He-Ne-лазера зависит от длительности темнового периода между импульсами / Т. Й. Кару, Т. П. Рябых // Доклады росс. академ наук. – 1997. – Т. 353, № 5. – С. 676–678.

80. Козлов, А. И. Экспериментальное выращивание ленского осетра с использованием теплой воды в лаборатории – аквариальной БГСХА / А. И. Козлов // Современное состояние и перспективы развития аквакультуры: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Горки, 7–9 дек. 1999 г. / Белорусская ГСХА. – Горки, 1999. – С. 45–46.

81. Комлык, И. П. Биотехника размножения. Рабочая тетрадь с методическими указаниями для лабораторно-практических занятий по курсу «Акушерство, гинекология и биотехника размножения животных» / И. П. Комлык, В. Ю. Сиротинина. – Петрозаводск: ПГУ, 2002. – 43 с.

82. Константинов, А. С. Влияние колебаний температуры на рост, энергетику и физиологическое состояние молоди рыб // Известия РАН. Сер. биол. наук. – 1993. – № 1. – С. 55–63.

83. Корепанов, В. И. Теория и практика лазерной терапии / В. И. Корепанов. – М.: НПП РАПИД, 1993. – 109 с.

84. Коровина, О. Б. Качество осетровых рыб индустриального способа производства: автореф. дис. … канд. техн. наук / О. Б. Коровина; ТЭИ. – СПб., 1993. – 15 с.

85. Коррекция раннего гаметогенеза у сибирской стерляди и сибирского осетра слабыми магнитными полями / А. Г. Селюков [и др.] // Тр. Междунар. форума по про-

блемам науки, техники и образования: в 2 т., Москва, 1–5 дек. 2007 г. / АН о Земле; под ред. В. П. Савиных, В. В. Вишневского. – Москва, 2003. – С. 116–117.

86. Краснодембская, К. Д. Методические указания к оценке физиологической полноценности личинок костистых и осетровых рыб, выращиваемых на рыбоводных заводах, по реакциям пигментных клеток (меланофоров) / К. Д. Краснодембская. – СПб., 1994. – 39 с.

87. Крутик, С. Ю. Особенности роста, развития и резистентности гидробионтов под воздействием низкоинтенсивного когерентного инфракрасного излучения: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.18 / С. Ю. Крутик; Московский гос. ун-т технологий и управления. – М., 2006. – 21 с.

88. Кудрявцев, А. А. Гематология животных и рыб / А. А. Кудрявцев, Л. А. Кудрявцева, Т. И. Привольцев. – М.: Колос, 1969. – 320 с.

89. Курдюков, С. И. Экономическая ситуация в рыбохозяйственном комплексе / С. И. Курдюков // Вестник Рос. академ. с.-х. наук. – 2007. – № 1. – С. 20–22.

90. Кычанов, В. М. Разработка и использование биологических тестов для воспроизводства ценных видов рыб: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук: 06.02.01 / В. М. Кычанов; Всерос. НИИ генетики и разведения с.-х. животных. – СПб., 1998. – 40 с.

91. Лабораторная диагностика мужского бесплодия / В. В. Долгов [и др.]. – М. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2006. – 145 с.

92. Лазерная коррекция эмбрионального развития вьюна / А. Б. Бурлаков [и др.] // Вестник Московского университета. Сер. 16, Биология. – 1997. – № 1. – С. 19–24.

93. Лазеры в клинической медицине: руководство для врачей / под ред. С. М. Плетнева. – М.: Медицина, 1996. – 432 с.

94. Левин, А. В. Хоминг у осетровых: пока вопросов больше, чем ответов / А. В. Левин, С. Б. Подушка // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. – СПб., 2001. – № 5. – С. 21–37.

95. Ложниченко, О. В. Анализ некоторых органов кроветворения молоди русского осетра / О. В. Ложниченко // Вестник Рос. ун-та дружбы народов. – 2005. – № 2. – С. 54–57.

96. Лукьяненко, В. И. Возрастно-весовой стандарт заводской молоди каспийских осетров / В. И. Лукьяненко, Р. Ю. Касимов, А. А. Кокоза. – Волгоград, 1984. – 229 с.

97. Лукьяненко, В. И. Возрастно-весовой стандарт заводской молоди каспийских осетровых (экспериментальное обоснование) / В. И. Лукьяненко, Р. Ю. Касимов, А. А. Кокоза. – Волгоград: Ин-т биологии внутр. вод, 1984. – 229 с.

98. Магомедова, У. Г-Г. Исследование влияния лазерного облучения на морфометрические и биохимические показатели в процессе развития рыб: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.16 / У. Г-Г. Магомедова; Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2004. – 22 с.

99. Макаров, Э. В. Оценка выживаемости осетровой молоди, выращиваемой донскими рыбоводными заводами / Э. В. Макаров // Осетровые южных морей Советского Союза. – 1962. – Т. 41. – Вып. 5. – С. 721–723.

100. Малашко, Д. В. Продуктивность, естественная резистентность коров и санитарно-гигиенические показатели молока при использовании низкоинтенсивного лазерного облучения: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 16.00.06 / Д. В. Малашко; Витебская гос. академия вет. медицины. – Витебск, 2007. – 21 с.

101. Мальцев, А. В. Биометрический метод определения пола осетровых, в частности – русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* (*Acipenseridae*) азовской популяции // Вопросы ихтиологии. – 2006. – Т. 46. – № 4. – С. 536–540.

102. Мамедов, Р. А. Современное состояние и перспективы развития товарного осетроводства в Беларуси / Р. А. Мамедов // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2006. – № 22. – С. 134–137.

103. Мамедов, Р. А. Первый опыт воспроизводства бестера и сибирского (ленского) осетра в Беларуси / Р. А. Мамедов, А. И. Лашкевич // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыбного хозяйства НАН Беларуси; гл. ред. В. В. Кончиц. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 88–98.

104. Мамедов, Р. А. Первый опыт воспроизводства стерляди в прудовых хозяйствах Беларуси / Р. А. Мамедов // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. / Белорусская ГСХА; гл. ред. М. В. Шалак. – Горки, 2005. – Вып. 8, ч. 2. – С. 53–55.

105. Мамедов, Р. А. Современное состояние и перспективы развития товарного осетроводства в Беларуси / Р. А. Мамедов // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыбного хозяйства НАН Беларуси ; гл. ред. В. В. Кончиц. – Минск, 2006. – Вып. 22. – С. 134–137.

106. Мамедов, Р. А. Опыт воспроизводства стерляди ОАО «Рыбхоз Полесье» / Р. А. Мамедов // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыбного хозяйства НАН Беларуси; гл. редактор В. В. Кончиц. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 99–113.

107. Мамонтов, Ю. П. Аквакультура в пресноводных водоемах России / Ю. П. Мамонтов, А. И. Литвиненко. – Тюмень: ФГУП Госрыбцентр, 2007. – 35 с.

108. Манжос, А. П. Оптимизация применения низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения в терапии бронхиальной обструкции при стабильном течении хронической обструктивной болезни легких: автореф. дис. … канд. мед. наук: 14.00.19 / А. П. Манжос; Рос. науч. центр рентгенорадиологии Федерал. а-ва по здравоохран. и соц. р-тию. – М., 2007. – 21 с.

109. Марти, Ю. Ю. Вопросы развития осетрового хозяйства в Каспийском море / Ю. Ю. Марти // Осетровые и проблемы осетрового хозяйства. – М., 1972. – С. 124–151.

110. Махмудбеков, А. А. О стандартном весе молоди осетровых, выпускаемой кюринскими заводами / А. А. Махмудбеков, Р. А. Маилян // Тез. докл. отчетной сессии ЦНИОРХ. – Астрахань, 1966. – С. 57–59.

111. Методические рекомендации по диагностике, терапии и профилактике нарушений обмена веществ у продуктивных животных / Всеросс. науч.-исслед. вет. ин-т патологии, фармакологии и терапии; авт.-сост.: М. И. Рецкий [и др.]. – Воронеж, 2005. – 94 с.

112. Мильштейн, В. В. Осетроводство / В. В. Мильштейн. – М.: Пищ. промышленность, 1982. – 150 с.

113. Михайлова Ю. И. Оценка экономической эффективности научных исследований и разработок в товарном осетроводстве / Ю. И. Михайлова // Проблемы современного товарного осетроводства: сб. докладов Первой науч.-практ. конф., Астрахань, 24–25 марта 1999 г. / науч.-практ. центр по осетроводству «БИОС»; редкол.: Л. М. Васильева [и др.]. – Астрахань, 2000. – С. 50–53.

114. Михайлова, Н. В. Влияние света гелий-неонового лазера на рост куриного эмбриона и цыплят / Н. В. Михайлова, И. Б. Устинсков, Л. А. Устинскова // Уч. записи Казанского вет. ин-та им. Баумана. – 1977. – Т. 128. – С. 104–108.

115. Михеев, В. П. Садковое выращивание товарной рыбы / В. П. Михеев. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 216 с.

116. ММС Сперм [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mmcatalog.com/index.html. – Дата доступа: 08.10.2013.

117. Морфологические изменения в скелетных мышцах поросят под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения / В. В. Малашко [и др.] // Лазерная физика и оптические технологии: сб. науч. тр. VII Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию образов. НАН Беларуси: в 3 т., Минск, 17–19 июня 2008 г. / Ин-т физики им. Степанова НАН Беларуси; редкол.: Н. С. Казак [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 389–392.

118. Москвин, С. В. Эффективность лазерной терапии / С. В. Москвин. – М.: Техника, 2003. – 256 с.

119. Мурашко, Н. В. Синдром гиперандрогении у женщин репродуктивного возраста: клиника, дифференциальный диагноз: учеб.-метод. пособие / Н. В. Мурашко, Л. И. Данилова. – Минск: БГАПО, 2010. – 33 с.

120. Начало официального производства пищевой икры осетровых рыб, выращенных в рыбоводных хозяйствах / С. Б. Подушка [и др.] // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. – СПб., 2005. – № 9. – С. 5–11.

121. Некоторые результаты массового мечения радиоактивным фосфором «нестандартной» молоди осетра / Г. С. Карзинкин [и др.] // Вопросы физиологии рыб. – 1961. – Т. 44. – С. 85–114.

122. Низкоинтенсивная лазерная терапия / под ред. С. В. Москвина, В. А. Буйлинаю. – М.: НПЛЦ Техника, 2000. – 724 с.

123. Никоноров, С. И. Эколого-генетические проблемы искусственного воспроизводства осетровых и лососевых рыб / С. И. Никоноров. – М.: Наука, 1993. – 254 с.

124. Нормативно-методические указание по технологии формирования ремонтно-маточных стад осетровых рыб в садках / сост.: В. Н. Шевченко, А. А. Попова, Л. В. Пискунов. – Астрахань: КаспНИРХ, 2005. – 34 с.

125. О влиянии сканирующего лазерного облучения на развивающуюся икру карпа / В. В. Кончиц [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства: сб. науч. тр. / Белорус. науч. исслед. и проект. конструктор. ин-т рыбного хоз-ва; редкол.: В. В. Кончиц, П. И. Жуков, В. И. Столович [и др.]. – Минск, 1994. – С. 35–41.

126. Озернюк, Н. Д. Энергетический обмен в раннем онтогенезе рыб / Н. Д. Озернюк. – М.: Наука, 1985. – 176 с.

127. Опыт применения лазерного аппарата СТП-3 в ветеринарной практике / В. П. Иноземцев [и др.] // Ветеринария. – 1997. – № 5. – С. 32–36.

128. Патент Российской Федерации 2035858, 1995.

129. Персов, Г. М. Методика работы с производителями стерляди / Г. М. Персов // Уч. записки Ленингр. ун-та. – № 28. – Сер. биол. наук. – 1957. – Вып. 44. – С. 72–86.

130. Плавский, В. Ю. Влияние лазерного излучения инфракрасной области спектра на устойчивость молоди осетровых рыб к дефициту кислорода / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2008. – № 8–9. – С. 65–74.

131. Плавский, В. Ю. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Журнал прикл. спектр. – 2008. – Т. 75, № 2. – С. 234–241.

132. Плавский, В. Ю. Влияние поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Журнал прикл. спектр. – 2008. – Т. 75, № 6. – С. 843–858.

133. Плавский, В. Ю. Влияние модуляции низкоинтенсивного лазерного излучения на его биологическую активность / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Лазерная медицина. – 2009. – Т. 13, № 1. – С. 4–9.

134. Плавский, В. Ю. Роль поляризации и когерентности во взаимодействии оптического излучения низкой интенсивности с биологическими системами (эмбрионами

рыб) / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Лазерная физика и оптические технологии: сб. науч. тр. VII Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию образов. НАН Беларуси: в 3 т., Минск, 17–19 июня 2008 г. / НАН Беларуси, Ин-т физики им. Степанова НАН Беларуси, Белорус. Респ. фонд фундам. исслед., Росс. фонд фундам. исслед., Белорус. физ. об-во; редкол.: Н. С. Казак [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 401–404.

135. Плавский, В. Ю. Сперма рыб как объект для исследования механизмов биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: сб. статей 7-го Белорусско-Российского семинара, Минск, 1–5 июня 2009 г. / Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси; редкол.: В. В. Зубелевич [и др.]. – Минск, 2009. – С. 217–220.

136. 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.

137. Повышение резистентности осетровых рыб на ранних этапах онтогенеза при использовании витаминных препаратов / Е. Н. Пономарева [и др.] // Вест. Юж. науч. ц-ра Росс. академ. наук. – 2005. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 41–44.

138. Подбор криопротекторов и оптимизация режимов охлаждения спермы русского осетра при криоконсервации / Е. Н. Пономарева [и др.] // Вестник КБГУ. Биологические науки. – 2006. – Вып. 8. – С 66–69.

139. Подушка, С. Б. Способ получения икры от самок осетровых рыб: а. с. СССР. № 1412035 / С. Б. Подушка. – 1986.

140. Подушка, С. Б. Изменить схему воспроизводства осетровых / С. Б. Подушка // Рыбное хозяйство. – 1995. – № 2. – С. 31–32.

141. Подушка, С. Б. Кризис заводского осетроводства в России и возможные пути его преодоления / С. Б. Подушка // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. – 2007. – № 12. – С. 5–15.

142. Подушка, С. Б. Получение икры у осетровых с сохранением жизни производителей / С. Б. Подушка // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. – СПб., 1999. – Вып. 2. – С. 4–19.

143. Подушка, С. Б. Проблема сохранения генофонда осетровых в водоемах СССР / С. Б. Подушка // Вестник Ленингр. ун-та. – 1986. – Сер. 3, Вып. 4. – С. 15–25.

144. Подушка, С. Б. Ремонтно-маточные стада в осетроводстве / С. Б. Подушка // Проблемы современного товарного осетроводства: сб. докладов Первой науч.-практ. конф., Астрахань, 24–25 марта 1999 г. / ФГУП НПЦ по осетроводству «Биос». – Астрахань; отв. ред.: Л. М. Васильева. – Астрахань, 1999. – С. 78–83.

145. Подушка, С. Б. Ускоренное формирование маточных стад осетровых в рыбоводных хозяйствах / С. Б. Подушка // Проблемы современного товарного осетроводства: тезисы докладов Первой науч.-практ. конф., Астрахань, 24–25 марта 1999 г. / Гос. ком. Рос. Федерации по рыболовству, Отрасл. науч.-произв. центр по товар. осетроводству «Биос». – Астрахань, 1999. – С. 71–73.

146. Пономарев, С. В. Фермерская аквакультура: рекомендации / С. В. Пономарев, Л. Ю. Лагуткина, И. Ю. Киреева. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 192 с.

147. Потапенко, А. Я. Действие света на человека и животных / А. Я. Потапенко // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 10. – С. 13– 21.

148. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – 4-е изд.; под ред. П. А. Дрягина, В. В. Покровского. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.

149. Применение гелий-неонового лазера в клинике внутренних болезней / И. М. Корочкин [и др.] // Советская медицина. – 1984. – № 2. – С. 6–10.

150. Применение квантовой энергии для стимуляции роста и развития новорожденных телят / А. А. Музыка [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2006. – № 5. – С. 171–173.

151. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в качестве физического адаптогена при действии на организм стрессорных факторов: пособие для врачей и научных работников / Г. Е. Бриль [и др.]. – Саратов: Изд-во Саратовского мед. университета, 1998. – 32 с.

152. Применение электромагнитных излучений сверхвысокочастотного диапазона и магнитных полей при воспроизводстве белого амура в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»» / М. М. Радьков [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыбного хозяйства, Науч.-практич. центр НАН Беларуси по жив-ву; под общ. ред. М. М. Радько. – Минск, 2008. – Вып. 24. – С. 190–193.

153. Пустовит, Н. С. Некоторые гематологические показатели молоди камчатской микижи Parasalmo mykiss / Н. С. Пустовит, О. П. Пустовит // Вопросы ихтиологии. – 2005. – Т. 45, № 5. – С. 680–688.

154. Развитие аквакультуры – важный фактор сохранения водных биоресурсов Каспийского моря / М. И. Карпюк [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 16–18.

155. Развитие жизненно важных органов осетровых в раннем онтогенезе: монография / Г. М. Абдурахманов [и др.]. – М.: Наука, 2006. – 220 с.

156. Различные эффекты непрерывного и импульсного лазерного излучения (λ = 632,8 нм) на окислительный метаболизм спленоцитов / Т. Й. Кару [и др.] // Доклады Рос. акад. наук. – 1995. – Т. 345, № 3. – С. 407–409.

157. Рачек, Е. И. Культивирование амурского осетра в садках тепловодного индустриального хозяйства Дальневосточного региона / Е. И. Рачек, В. Г. Свирский // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 86–89.

158. Регуляторная биологическая активность и эффективность лечебного действия низкоинтенсивного лазерного излучения и излучения сверхъярких светодиодов / В. А. Мостовников [и др.] // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы Междунар. конф., Минск, 14–15 окт. 2004 г. / Ин-т физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси; редкол.: А. Н. Рубинов [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 40–61.

159. Рубинов, А. Н. Нерезонансные механизмы биологического действия когерентного и некогерентного света / А. Н. Рубинов, А. А. Афанасьев // Оптика и спектроскопия. – 2005. – Т. 98, № 6. – С. 1027–1032.

160. Руководство по биотехнологии и нормативам выращивания разноразмерной молоди осетровых для выпуска в естественные водоемы / В. А. Крупий [и др.]. – Астрахань: КаспНИРХ, 2006. – 24 с.

161. Селюков, А. Г. Протекторное действие слабых импульсных магнитных полей в раннем онтогенезе тугуна *Coregonus Tugun* (*Pallas*) в условиях хронического нефтяного загрязнения / А. Г. Селюков, Г. Н. Беспоместных // Экология. – 2006. – № 5. – С. 365–371.

162. Словарь-справочник по пресноводной аквакультуре / Ю. П. Мамонтов, А. И. Литвиненко. – М.: ООО «Столичная типография», 2008. – 112 с.

163. Смертина, Е. Ю. Лазерная терапия болезней сельскохозяйственных животных / Е. Ю. Смертина, Ю. И. Смолянинов, Н. В. Старчак // Ветеринария Сибири. – 2000. – № 4. – С. 40–42.

164. Современные тенденции в разработке аппаратуры для низкоинтенсивной лазерной терапии / В. Ю. Плавский [и др.] // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы Междунар. конф.: в 2 т., Минск, 14–15 окт. 2004 г. / Ин-т физики

им. Степанова НАН Беларуси; редкол.: А. Н. Рубинова [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 62–73.

165. Спектральные и фотохимические характеристики сенсибилизаторов хлорина e_6 и фотолона в присутствие меланина / М. В. Пархоц [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2005. – Т. 98, № 3. – С. 417–425.

166. Спотт, С. Содержание рыбы в замкнутых системах / С. Спот.; пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 192 с.

167. Стабилизация фенотипического и генотипического разнообразия молоди семги (*Salmo Salar* L.) в аквакультуре путем кратковременного воздействия на личинок лазерным излучением / Э. К. Попова [и др.] // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: материалы IX Междунар. конф., 11–14 окт. 2004 г. / Ин-т биологии Карел. науч. центра РАН, Зоолог. ин-т РАН.; ред. совет: А. Ф. Алимов [и др.]. – Петрозаводск, 2005. – С. 263–268.

168. Стикни, Р. Принципы тепловодной аквакультуры / Р. Стикни; пер. с. англ. – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.

169. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 1–16.

170. Строганов, Н. С. Экологическая физиология рыб / Н. С. Строганов. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 444 с.

171. Строганов, Н. С. Акклиматизация и выращивание осетровых рыб в прудах / Н. С. Строганов. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 377 с.

172. Структурная модель неспецифического биостимулирующего действия лазерного излучения: роль слабопоглощающих фоторецепторов и альтерации структурного состояния растворов биомолекул / С. Д. Захаров [и др.] // Действие электромагнитного излучения на биологические объекты и лазерная медицина: сб. науч. ст. / АН СССР, Дальневост. отд-ние; отв. ред. В. И. Ильичев. – Владивосток, 1989. – С. 41–52.

173. Структурные особенности действия низкоинтенсивного лазерного излучения переживающие ткани человека / Ю. Д. Березин [и др.]. // Докл. академ. наук СССР. – 1983. – Т. 273, № 3. – С. 734–736.

174. Структурные перестройки в водной фазе клеточных суспензий и белковых растворов при светокислородном эффекте / С. Д. Захаров [и др.] // Квантовая электроника. – 2003. – Т. 33, № 2. – С. 149–162.

175. Студенецкий, С. А. Календарь событий, связанных с историей отечественного рыбного хозяйства с древнейших времен до наших дней / С. А. Студенецкий. – М.: ВНИРО, 2004. – 176 с.

176. Сырбулев, Д. Н. Формирование ремонтно-маточного стада – путь гарантированного получения молоди волжских осетровых / Д. Н. Сырбулев, А. И. Николаев // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 22–23.

177. Терапевтическая эффективность низкоинтенсивного лазерного излучения / А. С. Крюк [и др.] – Минск, 1986. – 328 с.

178. Москвин, С. В. Можно ли заменить лазеры для терапии нелазерными источниками света? / С. В. // Аппаратная косметология. – 2018. – № 1–2. – С. 100–109.

179. Технологии и нормативы по товарному осетроводству в VI рыбоводной зоне / Л. М. Васильева [и др.]; под ред. Н. В. Судаковой. – М.: ВНИРО, 2006. – 100 с.

180. Турдаков, А. Ф. Воспроизводительная система самцов / А. Ф. Турдаков. – Фрунзе: Илим, 1972. – 280 с.

181. Тушение синглетного молекулярного кислорода экранирующими пигментами – меланинами и оммохромами / С. Ю. Егоров [и др.] // Биофизика. – 1987. – Т. 32, № 4. – С. 685–686.

182. Узденский, А. Б. Исследование влияния лазерного излучения на икру и личинок осетровых рыб / А. Б. Узденский, О. Ю. Воробьева // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 1992. – Т. 28, № 3. – С. 329–336.

183. Уитон, Ф. Техническое обеспечение аквакультуры/ Ф. Уитон; пер. с англ. – М.: Агропромиздат, 1985. – 528 с.

184. Улащик, В. С. Низкоинтенсивная лазерная терапия: физико-химические механизмы действия / В. С. Улащик // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы Междунар. конф.: в 2 т., Минск, 14–15 окт. 2004 г. / Ин-т физики им. Степанова НАН Беларуси; редкол.: А. Н. Рубинов [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 17–23.

185. Улащик, В. С. Низкоинтенсивная лазерная терапия: физико-химические механизмы действия / В. С. Улащик // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы междунар. конф. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 20–21.

186. Федосеева, Е. А. Физиологические нормы молоди бестера при различных технологиях выращивания / Е. А. Федосеева, С. С. Астафьева // Рыбное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 68–69.

187. Ходоревская, Р. П. Состояние запасов осетровых рыб Каспийского моря и стратегии их восстановления / Р. П. Ходоревская, А. А. Романов // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 3. – С. 50–52.

188. Цитохром «О» в икре сиговых рыб / Ж. А. Черняев [и др.] // Вопросы ихтиологии. – 1987. – Т. 27, № 5. – С. 867–872.

189. Чебанов, М. С. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич // Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству 558. – Анкара, 2013. – 370 с.

190. Чебанов, М. С. Руководство по разведению и выращиванию осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич, Ю. Н. Чмырь. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 136 с.

191. Чебанов, М. С. Формирование и эксплуатация ремонтно-маточных стад осетровых рыб южного филиала Федерального селекционно-генетического центра рыбоводства / М. С. Чебанов, Е. В. Галич, Я. Г. Меркулов // Породы, одомашненные формы осетровых рыб. – М.: ООО «Столичная типография», 2008. – С. 52–85.

192. Чудновский, В. М. Некоторые биологические модели и физические механизмы фотомедицины / В. М. Чудновский, В. И. Юсупов // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2001. – Вып. 10. – С. 60–70.

193. Шалва, М. Икра икре – рознь / М. Шальва // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 11–12.

194. Шидова, А. В. Сравнительная оценка воздействия низкоинтенсивного импульсного и непрерывного лазерного излучения красного и инфракрасного диапазонов спектра на микроциркуляцию в комплексной терапии хронического пародонтита: автореф. дис. … канд. мед. наук: 14.00.21 / А. В. Шидова; Централь. науч.-исслед. ин-т стоматологии Росздрава. – М., 2007. – 27 с.

195. Щеглов, М. В., Токсикопротекторные эффекты эпибрассинолида в эмбриогенезе севрюги и черноморского лосося / М. В. Щеглов, С. В. Егоров, М. А. Егоров // Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития: материалы докладов II Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 21–22 ноября 2001 г. / Науч.-производ. центр по осетроводству «БИОС»; редкол.: В. В. Архангельский [и др.]. – Астрахань: Нова, 2001. – С. 73–75.

196. A comparative study of some hematological features in young reare sturgeons (*Acipenser persicus* and *Huso huso*) / M. Bahmani [et al.]. – Fish Physio Biochem. – 2010. – Vol. 24. – P. 135–140.

197. A new light device for wound healing / R. Lubart [et al.] // Recent Patents Biomed. Engineer. – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 13–17.

198. A preliminary economic analysis of stocking strategies for penaeid shrimp culture / C.R. Pardy [et al.] // J. of the World Mariculture Society. – 1983. – Vol. 14. – P. 49–63.

199. A preliminary study of oscillating electromagnetic field effects on human spermatozoon motility / R. Iorio [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2007. – Vol. 28, № 1. – P. 72–75.

200. Absten, G. T. Physics of light and lasers / G. T. Absten // Obstetrics and Gynecology Clinics of North America. – 1991. – Vol. 18, № 3. – P. 407–427.

201. Acute exposure of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt) yearlings to nitrite: median-lethal concentration (LC50) determination, hematological changes and nitrite accumulation in selected tissues / M. Huertas [et al.] // Aquatic Toxicology. – 2002. – Vol. 57. – P. 257–266.

202. Adverse effects of bisphenol A on reproductive physiology in male goldfishat environ mentally relevant concentrations / A. Hatef [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2012. – Vol. 76. – P. 56–62.

203. Alavi, S. M. H. Sperm motility in fishes: II. Effects of ions and osmollaity / S. M. H. Alavi, J. Cosson // Cell Biol Int. – 2006. – Vol. 30. – P. 1–14.

204. Alavi, S. M. H., Sperm motility in fishes: I. Effects of pH and temperature / S. M. H. Alavi, J. Cosson // Cell Biol Int. – 2005. – Vol. 29. – P. 101–110.

205. Allen, P. G. Research direction and economic feasibility: an example of systems analysis for lobster aquaculture / P. G. Allen, W.E. Johnston // Aquaculture. – 1976. – Vol. 9, № 2. – P. 155–180.

206. Al–Watban, F. A. The comparison of effects between pulsed and CW lasers on wound healing / F. A. Al–Watban, X. Y. Zhang // J. of Clinical Laser Medicine and Surgery. – 2004. – Vol. 22, № 1. – P. 15–18.

207. Antioxidant properties of melanin in retinal pigment epithelial cells / Z. Wang [et al.] // Photochemistry and Photobiology. – 2006. – Vol. 82, № 2. – P. 474–479.

208. Anver, C. E. Blood chemistry (electrolytes, lipoprotein and enzymes) values of black scorpion fish (*Scorpaena porcus*, 1758) in the Dardnelles. / C. E. Anver // Turkey. J Biol Sci. – 2004. – Vol. 4. – P. 716–719.

209. Apparatus for low-level laser therapy: modern status and development trends / V. Y. Plavskii [et al.] // J. of Optical Technology. – 2007 – Vol. 74, № 4. – P. 246–257.

210. Artificial propagation of the white sturgeon, Acipenser transmontanus Richardson / S. I. Doroshov [et al.] // Aquaculture. – 1983. – Vol. 32. – P. 93–104.

211. Arukwe, A. Eggshell and egg yolk proteins in fish: hepatic proteins for the next generation: oogenetic, population, and evolutionary implications of endocrine disruption / A. Arukwe, A. Goksøyr // Comparative Hepatology. – 2003. – Vol. 2. – P. 1–21.

212. Altenritter, M. E. Assessing dorsal scute microchemistry for reconstruction of shortnose sturgeon life histories / M. E. Altenritter // Environmental Biology of Fishes. – 2015. – Vol. 98(12). – P. 2321–2335.

213. Assessing pollution in the Danube River near Novi Sad (Serbia using several biomarkers in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) / B. Stanic [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2006. – Vol. 65. – P. 395–402.

214. Atlantic sturgeons (*Acipenser sturio, Acipenser oxyrinchus*): American females successful in Europe / R. Tiedemann [et al.] // Naturwissenschaften. – 2007. – Vol. 94. – P. 213–217.

215. Barulin, N. Laser-optical devices for incubation of sturgeon eggs in aquaculture / N. Barulin, V. Plavskii // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 47.

216. Barulin, N. Störaufzucht in der Republik Belarus / N. Barulin // Fischerei & Fischmarkt in M.V. – 2006. – Vol. 1. – P. 17–18.

217. Barulin, N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (bester = female *Huso huso* Linnaeus, 1758 × male *Acipenser ruthenus* Linneaus, 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. – 31. – P. 2–6. doi: 10.1111/jai.12898.

218. Barulin, N. V. Diagnostyka stanu fizjologicznego stada selektow i tarlakow sterleta (*Acipenser ruthenus* L.) w systemach recyrkulacyjnych / N. V. Barulin // Aktualny stan i ochrona naturalnych populacji ryb jesiotrowatych Acipenseridae. – Olsztyn, 2014. – P. 197–202.

219. Barulin, N. V. Effect of Polarization and Coherence of Optical Radiation on Sturgeon Sperm Motility / N. V. Barulin, V. Y. Plavskii // International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering. – 2012. – Vol. 6(7). – P. 23–27.

220. Barulin, N. V. Serum biochemical and steroid hormones parameters of sturgeon females in recirculating aquaculture system / N. V. Barulin, A. P. Kurdeko // Abstracts of 10th International Congress on the Biology of Fish. – 2012. – Madison, Wisconsin, USA. – P. 7.

221. Baxter, G. D. Therapeutic Lasers: Theory & Practice / G. D. Baxter. – Edinburgh: Churchill Livingstone, 1994. – 259 p.

222. Bemis, W. E. An overview of *Acipenseriformes* / W. E. Bemis, E. K. Findeis, L. Grande // Env Biol Fish. – 1997. – Vol. 48. – P. 25–71.

223. Billard, R. Esturgeons et caviar. Laurent Sabeu / R. Billard – Paris: Tec et Doc, 2002. – 298 p.

224. Biological effects of helium-neon (He-Ne) laser irradiation on acrosome reaction in bull sperm cells / J. M. Ocana-Quero [et al]. // J Photochem Photobiol B: Biol. – 1997. – Vol. 40. – P. 294–298.

225. Birstein, V. J. Sturgeons and paddlefishes: threatened fishes in need of conservation / V. J. Birstein // Conservation Biology. – 1993. – Vol. 7, № 4. – P. 773–787.

226. Bless, R. Rote Liste der Fische und Rundmauler / R. Bless, A. Lelek // Rote Liste der gefahrdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. Kilda-Verlag, 4. Auflage. – 1984.

227. Boiko, N. E. The effect of hexachloran and mineral oil on the dynamics of thyroid hormones in larvae of the russian sturgeon, *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt / N. E. Boiko // J. of Environmental Protection and Ecology. – 2003. – Vol. 4, № 1. – P. 128–133.

228. Breugel, V. Power density and exposure time of He-Ne laser irradiation are more important than total energy dose in photo-biomodulation of human fibroblasts *in vitro* / V. Breugel [et al.] // Laser Medicine and Surgery. – 1992. – Vol. 12(5). – P. 528–537.

229. Bromage, N. R. Brookstock Management and Egg and Larval Quality / N. R. Bromage, R. J. Roberts // Oxford: Blackwell Science Ltd. – 1995. – 424 p.

230. Bronzi, P. Present and future sturgeon and caviar production and marketing: a global market overview / P. Bronzi, H. Rosenthal // J. Appl. Ichthyol. – 2014. – Vol. 30. – P. 1536–1546.

231. Bronzi, P. Sturgeon and caviar production worldwide / P. Bronzi, H. Rosenthal // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 14.

232. Brown, G. C. Nitric oxide and mitochondrial respiration / G. C. Brown // Biochimica et Biophysica Acta. – 1999. – Vol. 1411, Is. 2–3. – P. 351–369.

233. Busackee, G. P Methods for fish bilogy / G. P. Busackee, I. R. Alelman, E. M. Goolish. – Eds. Scherck, 1990. – 684 p.

234. caret: Classification and Regression Training / M. Kuhn [et al.]. – 2017. R package version 6.0–76

235. Chebanov, M. The culture of sturgeons in Russia: production of juveniles for stocking and meat for human consumption / M. Chebanov, R. Billlard // Aquatic Living Resources. – 2001. – Vol. 14. – P. 375−381.

236. Chebanov, M. Ultrasound diagnostics for sturgeon broodstock management / M. Chebanov, E. Galich. – Krasnodar, 2009. – 115 p.

237. Chebanov, M. S. Sturgeon hatchery manual / M. S. Chebanov, E. V. Galich. – FAO, Ankara. – 2013. – 303 p.

238. Christensen, R. H. B. Ordinal – Regression Models for Ordinal Data / R. H. B. Christensen. – 2015. R package version 2015.6–28

239. Circlize implements and enhances circular visualization in R. Bioinformatics / Z. Gu [et al.]. – 2014. – Vol. 30(19). – P. 2811–2812.

240. Circos: an Information Aesthetic for Comparative Genomics / M. Krzywinski [et al] // Genome Res. – 2009. – Vol. 19. – P. 1639–1645.

241. Comparing Ultrasonography and Endoscopy for Early Gender Identification of Juvenile Siberian Sturgeon. North American / L. Munhofen [et al.] // J. of Aquaculture. – 2014. – Vol. 76. – P. 14–23.

242. Congiu, L. The role broodstock plays in the adaptability of released fish – plasticity and adaptability as a result of genetic makeup / L. Congiu, E. Boscari // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 17.

243. Cortisol and thyroid hormones at early stages of the development of the russion sturgeon, *Acipenser guldenstadtii* Brandt / N. E. Boiko [et al.] // J. of Environmental Protection and Ecology. – 2002. – Vol. 3, № 3. – P. 678–681.

244. Debus, L. Sturgeons in Europe and causes of their decline / L. Debus // Sturgeon stocks and caviar trade workshop. Proceedings of a workshop. Birstein, V. J. eds.; Bauer, A. eds.; Kaiser Pohlmann, A. eds. Gland Switzerland IUCN. – 1997 – Vol. 17. – P. 55–68.

245. Determination of sex and gonad maturity in sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) using ultrasound technique / D. Memiş [et al.] // J. Appl. Ichthyol. – 2006. – Vol. 28. – P. 1–8.

246. Determining ripeness in white sturgeon females to maximize yield and quality of caviar. Part II. Western region aquaculture center, U. S. Department of agriculture / M. Webb [et al.]. – 2009. – P. 1–36.

247. Detlaf, T. A. Sturgeon fishes. Developmental Biology and Aquaculture / T. A. Detlaf, A. S. Ginsburg, O. I. Schmalhausen. – Berlin: Springer Verlag, 1993. – 300 p.

248. Development of the skull and pectoral girdle in Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*, and Russian sturgeon, *Acipenser gueldenstaedtii* (*Acipenseriformes: Acipenseridae*) / P. Warth [et. al.] // J. Morphol. – 2017. – Vol. 278(3). – P. 418–442.

249. Donoghue, A. M. Effects of water– and lipid–soluble antioxidants on turkey sperm viability, membrane integrity, and motility during liquid storage / A. M. Donoghue, D. J. Donoghue // Poultry Science. – 1997. – Vol. 76, Is. 10. – P. 1440–1445.

250. Doroshov, S. I. Epilogue: a perspective on sturgeon culture / S. I. Doroshov, F. P. Binkowski // Environmental Biology of Fishes. – 1985. – Vol. 14. – P. 147–151.

251. Dynamic characteristics of the light reflected from the tissue / T. Yamamoto [et al.] // Laser-Tokyo-81. – 1981. – Vol. 2. – № 8. – P. 2–11.

252. Economic optimization modeling of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) caviar and meat production under different management conditions / B. J. Sanders [et al.] // Aquaculture. – 2003. – Vol. 217. – P. 409–430.

253. Effect of 655-nm diode laser on dog sperm motility / M. I. Corral-Baqués [et al.] // Lasers Med Sci. – 2005. – Vol. 20, № 1. – P. 28–34.

254. Effect of 830-nm diode laser irradiation on human sperm motility / R. S. Yazdi [et al.] // Lasers Med Sci. – 2014. – Vol. 29. – P. 97–104.

255. Effect of ascorbic acid supplementation on sperm quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / M. A. Canyurt, S. Akhan // Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2008. – Vol. 8. – P. 171–175.

256. Effect of laser rays on wound healing / E. Mester [et al.] // American J. of Surgery. – 1971. – V. 122. – P. 532–535.

257. Effect of visible light on some cellular and immune parameters / T. Kubasova [et al.] // Immunol. Cell Biol. – 1995. – Vol. 73(3). – P. 239–244.

258. Effects of 810 nm laser irradiation on in vitro growth of bacteria: comparison of continuous wave and frequency modulated light / E. L. Nussbaum [et al.] // Laser Medicine and Surgery. – 2002. – Vol. 31, № 5. – P. 343–351.

259. Effects of clove extract as an anesthetic on sperm motility traits and some hematological parameters in Prussian carp *Carassius Gibelio* / A. Farahi [et al.] // Advances in Environmental Biology. – 2011. – Vol. 5(6). – P. 1406–1410.

260. Effects of Eugenol and MS-222 Anaesthesia on Siberian Sturgeon *Acipenser baerii* Brandt / P. Gomulka [et al.] // ACTA VET. BRNO. – 2008. – Vol. 77. – P. 447–453.

261. Effects of glucose and fructose on motility patterns of dog spermatozoa from fresh ejaculates / T. Rigau [et al.] // Theriogenology. – 2001. – Vol. 56. – P. 801–815.

262. Effects of low-power laser irradiation on cell proliferation / M. Koutna [et al.] // Scripta Medica. – 2003. – Vol. 76, № 3. – P. 163–172.

263. Effects of water temperature on experimentally-induced infections of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) with the white sturgeon iridovirus (WSIV) / L. R. Watson [et al.] // Aquaculture. – 1998. – Vol. 166. – P. 213–228.

264. Eggshell zona radiata proteins from cod (*Gadus morhua*) extraovarian origin and induction by estradiol-17β / D. O. Oppen-Berntsen [et al.] // International J. of Developmental Biology. – 1992. – Vol. 36. – P. 247–254.

265. El Sayed, S. O. Effect of laser pulse repetition rate and pulse duration on mast cell number and degranulation / S. O. El Sayed, M. Dyson // Laser Medicine and Surgery. – 1996. – Vol. 19, № 4. – P. 433–437.

266. Elementary processes in cells after light absorption do not depend on the degree of polarization: implications for the mechanisms of laser phototherapy / T. I. Karu [et al.] // Photomed. Laser Surg. – 2008. – Vol. 26, № 2. – P. 77–82.

267. Evaluation of the toxicity and efficacy of hydrogen peroxide treatments on eggs of warm- and coolwater fishes / J. J. Rach [et al.] // Aquaculture. – 1998. – Vol. 165. – P. 11–25.

268. Factors affecting sperm motility. III. Influence of visible light and other electromagnetic radiations on human sperm velocity and survival / A. Makler [et al.] // Fertil Steril. – 1980. – Vol. 33, № 4. – P. 439–444.

269. FAO. State of world aquaculture // FAO Fisheries Technical Paper. – 2006. – № 500. – 134 p.

270. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. – Rome : FAO, 2007. – 162 p.

271. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. – Rome : FAO, 1995. – 57 p.

272. Fauvel, C. Evaluation of fish sperm quality / C. Fauvel, M. Suquet, J. Cosson // Journal of Applied Ichthyology. – 2010. – Vol. 26, Iss. 5. – P. 636–643.

273. Feeding rates affect heat shock protein levels in liver of larval white sturgeon (Acipenser transmontanus) / Dong–Fang Deng [et al.] // Aquaculture. – 2009. – Vol. 287, Is. 1–2. – P. 223–226.

274. Feeding trials with juvenile Atlantic sturgeons propagated from wild broodstock / J. W. Mohler [et al.] // The Progressive Fish-Culturist. – 1996. – Vol. 58. – P. 173–177.

275. Female reproductive biology and the coevolution of ejaculate characteristics in fish / P. Stockley [et al.] // Proc R Soc Lond B. – 1996. – Vol. 263. – P. 451–458.

276. Fenyö, M. Opposite effect of linearly polarized light on biosynthesis of interleukin-6 in a human B lymphoid cell line and peripheral human monocytes / M. Fenyö, J. Mandl, A. Falus // Cell Biol. Intern. – 2002. – Vol. 26(3). – P. 265–269.

277. Fish milt quality and major factors influencing the milt quality parameters: A review / S. Hajirezaee [et al.] // African J of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9(54). – P. 9148–9154.

278. Fox, J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R / J. Fox // J. of Statistical Software. – 2015. – Vol. 14(9). – P. 1–42.

279. Fried, R. Enzymatic and non–enzymatic assay of superoxide dismutase / R. Fried // Biochemical J. – 1975. – V. 257, № 5. – P. 657–660.

280. Fritsch, S. neuralnet: Training of Neural Networks / S. Fritsch, F. Guenther. – 2016. R package version 1.3

281. Gamete physiology, fertilization and egg activation in teleost fish / K. Coward [et al.] // Rev Fish Biol Fisher. – 2002. – Vol. 12. – P. 33–58.

282. Gender and gonadal maturity stage identification of captive Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, using ultrasound imagery and sex steroids / H. Du [et al.] // Gen Comp Endocrinol. – 2016. – DOI: 10.1016/j.ygcen.2016.08.004.

283. Glantz, S. A. Primer of Biostatistics / S. A. Glantz. – McGraw-Hill: New York, 2011. – 320 p.

284. Gonad histology and serum 11– KT profile during the annual reproductive cycle in sterlet sturgeon adult males, *Acipenser ruthenus* / A. Golpour [et al.] // Reprod Domest Anim. – 2017. – Vol. 52(2). – P. 319–326.

285. Green laser irradiation effects on buffalo semen / Z. Abdel-Salam [et al.] // Theriogenology. – 2011. – Vol. 75. – P. 988–994.

286. Growth and survival of first-feeding and fingerling Atlantic sturgeon under culture conditions / J. W. Mohler [et al.] // North American J. of Aquaculture. – 2000. – Vol. 62. – P. 174–183.

287. Hall, P. What is the Real Function of the Liver 'Function' Tests? / P. Hall, J. Cash // Ulster Med J. – 2012. – Vol. 81(1). – P. 30–36.

288. Hamlin, H. J. Nitrate toxicity in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) / H. J. Hamlin // Aquaculture. – 2006. – Vol. 253. – P. 688–693.

289. Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured shortnose sturgeon (Acipenser brevirostrum) / S. Knowles [et al.] // Veterinary Clinical Pathology. – 2008. – Vol. 35, № 4. – P. 434–440.

290. Hensel, E. Experimentelle Untersuchungen an großen Juvenilen des Europäischen Störs, Acipenser sturio Linnaeus, 1758 unter Berücksichtigung ernährungs- und wachstumsspezifischer Aspekte // Diss…zu Erlangung des akadem. Grades des Doktors der Naturwissenschaften. – Berlin. – 2005.

291. Hill, T. Statistics: Methods and Applications / T. Hill, P. Lewicki. – StatSoft, Inc., 2005. – 800 p.

292. Hochleithner, M. Störe: Verbreitung, Lebensweise, Aquakultur / M. Hochleithner. – Klosterneuburg: Osterreichischer Agrarverlag, 1996. – 202 s.

293. Holcik, J. (Ed.). The Freshwater Fishes of Europe. Vol. 1, Part II. General Introduction to Fishes. Acipenseriformes. AULA–Verlag, Wiesbaden, 1989. – 469 p.

294. Hothorn, T. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework / T. Hothorn, K. Hornik, A. Zeileis // J. of Computational and Graphical Statistics. – 2006. – Vol. 15(3). – P. 651–674.

295. Houston, J. J. Status of the lake sturgeon Acipenser fulvescens in Canada / J. J. Houston // Canadian Field-Naturalist. – 1987. – Vol. 101. – P. 171–185.

296. Hypothetical physical model for laser biostimulation / I. Kertesz [et al.] // Opt. Laser Technol. –1982. – Vol. 14, № 1. – P. 31–32.

297. Identification of the Molecular Sex-Differentiation Period in the Siberian Sturgeon / D. Vizziano-Cantonnet // Molecular Reproduction and Development. – 2016. – V. 83(1). – P. 19–36.

298. Improvement of stored turkey semen quality as a result of He-Ne laser irradiation / N. Iaffaldano [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2005. – Vol. 85, № 3–4. – P. 317–325.

299. In vitro capacitation and acrosome reaction of dog spermatozoa can be feasibly attained in a defined medium without glucose / J. L. Albarracin [et al.] // Reprod Dom Anim. – 2004. – Vol. 39. – P. 1–7.

300. *In vitro* effects of Bisphenol A on sperm motility characteristics in *Perca fluviatilis* L. (Percidae; Teleostei) / A. Hatef [et al.] // J. Appl Ichthyol. – 2010. – Vol. 26. – P. 696–701.

301. Induction of meiotic gynogenesis in sterlet (*Acipenser ruthenus*) using UV-irradiated bester sperm / D. Fopp-Bayat [et al.] // Aquaculture. – 2007. – Vol. 264. – P. 54–58.

302. Induction of nitric oxide synthesis in J774 cells lowers intracellular glutathione: effect of modulated glutathione redox status on nitric oxide synthase induction / J. S. Hothersall [et al.] // Biochemical J. – 1997. – Vol. 322. – P. 477–481.

303. Influence of Visible Light and Ultraviolet Irradiation on Motility and Fertility of Mammalian and Fish Sperm / T. Zan-Bar [et al.] // Photomedicine and Laser Surgery. – 2005. – Vol. 23, № 6. – P. 549–555.

304. Ion transport in sperm signaling / A. Darszon [et al.] // Dev Biol. – 2001. – Vol. 240. – P. 1–14.

305. Isolation and transplantation of sturgeon early-stage germ cells. / M. Pšenička [et. al] // Theriogenology. – 2015. – Vol. 83(6). – P. 1085–1092.

306. Karu, T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near–IR radiation on cells / T. Karu // J. Photochem. Photobiol. B: Biology. – 1999. – Vol. 49, № 1. – P. 1–17.

307. Karu, T. I. Photobiological fundamentals of low-power laser therapy / T. I. Karu // IEEE J. Quantum Electronics. – 1987. – Vol. QE 23, № 10. – P. 1703–1717.

308. Köhler, A. First years of experience of caviar production according the AWI patens / A. Köhler, A. Ziegler // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 38.

309. Kolman, R. Wyniki intensywnego chowu wylęgu i narybku bestera w warunkach zamkniętego obiegu wody / R. Kolman // Kom. Ryb. – 1993. – № 5. – S. 10–13.

310. Kostousov, V. G. Development of industrial fish culture in Belarus / V. G. Kostousov, N. V. Barulin // Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. HANDBOOK. – Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation – Szarvas, 2013. – P. 44–48.

311. Kroezus, E. Der gemeine Stör stirbt aus / E. Kroezus // Der Fischwirt. – 1967. – Vol. 14. – P. 313.

312. Kursa, M. Feature Selection with the Boruta Package / M. Kursa, W. Rudnicki // Journal of Statistical Software. – 2010. – Vol. 36(11). – P. 1–13.

313. Liaw, A. Classification and Regression by randomForest / A. Liaw, M. Wiener // R News. – 2002. – Vol. 2(3). – P. 18–22.

314. Light irradiation of mouse spermatozoa: stimulation of in vitro fertilization and calcium signals / N. Cohen [et al.] // Photochem Photobiol. – 1998. – Vol. 68(3). – P. 407–413.

315. Lipschultz, F. Production optimization and economic analysis of an oyster (*Crassostrea virginica*) hatchery on the Chesapeake Bay, Maryland, USA / F. Lipschultz, G. E. Krantz // Proceedings of the World Mariculture Society. – 1980. – Vol. 11. – P. 580–591.

316. Low energy narrow band non–coherent infrared illumination of human semen and isolated sperm / R. Singer [et al.] // Andrologia. – 1991. – Vol. 23, № 2. – P. 181–184.

317. Manual on Sturgeon Reproduction. Coppens. – Netherlannds, Helmond. – 2007. – 39 pp.

318. Mester, E. The use of the laser beam in therapy / E. Mester // Orv Hetil. – 1966. – V. 107. – P. 1012–1016.

319. Metwally, M. A. A. Effects of L-ascorbic acid on sperm viability in male Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) / M. A. A. Metwally, I. M. Fouad // Global Veterinar. – 2009. – Vol. 3(2). – P. 132–136.

320. Milborrow, S. rpart.plot: Plot 'rpart' Models: An Enhanced Version of 'plot.rpart' / S. Milborrow. – 2017. R package version 2.1.2

321. Mohler, J. W. Culture Manual for the Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*) / J. W. Mohler. – Hadley, Massachusetts, 2003. – 66 p.

322. Mohler, J. W. Induced spermiation in wild Atlantic sturgeons held captive up to six Years / J. W. Mohler, J. W. Fletcher // North American J. of Aquaculture. – 1999. – Vol. 61. – P. 70–73.

323. Mohr, E. Der Stör / E. Mohr. – Die Neue Brehm–Bücherei, Heft 84. – Leipzig: Ziemsen, 1952. – 66 p.

324. Morphological Distinction Between Juvenile Stages of the European Sturgeon *Acipenser sturio* and the Atlantic Sturgeon *Acipenser oxyrinchus* / S. Wuertz [et. al] // Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio L.* 1758. – 2011. – Vol. 53–64.

325. Mosyagina, M. V. State of steroid secretory cells and concentration of gonadal steroid hormones in the blood plasma of Siberian sturgeon *Acipenser baerii* and sterlet *A. ruthenus* (*Acipenseridae*) during sex differentiation / M. V. Mosyagina, O. V. Zelennikov // J. Ichthyol. – 2016. – Vol. 56(1). – P. 141–146. doi:10.1134/S0032945215060107

326. Murakami, J Hepatic manifestations in hematological disorders / J. Murakami, Y. Shimizu // International journal of hepatology. – 2013. – Vol. 1. – DOI:10.1155/2013/484903

327. 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, Finnish Game and Fisheries Research Institute. – 2014. – P. 95.

328. Nitrate-induced elevations in circulating sex steroid concentrations in female Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) in commercial aquaculture / H. J. Hamlin [et al.] // Aquaculture. – 2008. – Vol. 281, Is. 1–4. – P. 118–125.

329. Nuclear DNA markers for identification of Beluga and Sterlet sturgeons and their interspecific Bester hybrid / M. Havelka [et al.] // Sci Rep. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 1694.

330. Observations on the reproductive cycle of cultured white sturgeon Acipenser transmontanus / S. I. Doroshov [et al.] // Environmental Biology of Fishes. – 1997. – Vol. 48. – P. 265–278.

331. Ohshiro, T. Low level laser therapy: a practical introduction / T. Ohshiro, R. G. Calderhead. – Chichester; New York: John Wiley & Sons, 1988. – 137 p.

332. Paluszynska, A. randomForestExplainer: Explaining and Visualizing Random Forests in Terms of Variable Importance / A. Paluszynska, P. Biecek. – 2017. – R package version 0.9

333. Plavskii, V. Yu. Effect of exposure of sturgeon roe to low-intensity laser radiation on the hardiness of juvenile sturgeon / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin // Journal of Applied Spectroscopy. – 2008. – Vol. 75, № 2. – P. 241–250.

334. 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.

335. Plavskii, V. Yu. How the biological activity of low–intensity laser radiation depends on its modulation frequency / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin // Journal of Optical Technology. –2008. – Vol. 75, № 9. – P. 546–552.

336. Plavskii, V. Y. Biophysical and Technical Aspects of Phototherapy for Neonatal Hyperbilirubinemia. Bilirubin: Chemistry, Regulation and Disorder / V. Y. Plavskii // Ed. by J. F. Novotny, F. Sedlacek. – New York: Nova Science Publishers. – 2012. – P. 1–65.

337. Plavskii, V. Y. Fish embryos as model for research of biological activity mechanisms of low intensity laser radiation / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // Advances in Laser and Optics Research. – 2010. – Vol. 4. – P. 1–48.

338. 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. – 2011. – Vol. VI. – P. 234–238.

339. Plavskii, V. Y. Regulatory action of laser radiation of red and near infrared spectral regions on the zooplankton *Artemia salina* L. / V. Y. Plavskii [et al.] // Advances in Optics Photonics Sectroscopy & Applications – 2013. – Vol. VII. – P. 774–777.

340. Pohlert, T. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR) / T. Pohlert. – 2014. R package.

341. Popp, F. Hypothetical physical model laser biostimulation / F. Popp // Electromagnetic Bio Information. – München, 1979. – P. 123–150.

342. Possibilities of sturgeon culture in Central Europe / W. Steffens [et al.] // Aquaculture. – 1990. – Vol. 89. – P. 101–122.

343. Pourkazemi, M. Caspian Sea sturgeon Conservation and Fisheries: Past present and Future / M. Pourkazemi // J. of Applied Ichthyology. – 2006. – Vol. 22, № 1. – P. 12–16.

344. Primary photophysical processes which define the biological and therapeutic effect of low-intensity laser radiation / V. A. Mostovnikov [et al.] // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2370. – P. 541–548.

345. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. – 2017. – URL https://www.R-project.org/.

346. Radiation exposure exerts its adverse effects on sperm maturation through estrogen–induced hypothalamohypophyseal axis inhibition in rats / M. J. Makinta [et al.] // African Zoology. – 2005. – Vol. 40, № 2. – P. 243–251.

347. Rearing of sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) larvae. I. Feeding trial / K. Dabrowski [et al.] // Aquaculture. – 1985. – Vol. 47. – P. 185–192.

348. Rearing of sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) larvae. III. Nitrogen and energy metabolism and amino acid absorption / K. Dabrowski [et al.] // Aquaculture. – 1987. – Vol. 65. – P. 31–41.

349. Recirculating Aquaculture System / M. Timmons [et al.]. – Cayaunga Aqua Ventures, 2002. – № 1. – 759 p.

350. Regulation of spermatozoa motility in response to cations in Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* / P. Li // Theriogenology. – 2012. – Vol. 78. – P. 102–109.

351. Restoration of *Acipenser sturio* L., 1758 in Germany. I. Growth characteristics of juvenile fish reared under experimental indoor conditions / F. Kirschbaum [et al.] // Boletin, Instituto Espanol de Oceanografia. – 2000. – Vol. 16, № 1–4. – P. 157–165.

352. Rochard, E. Can we monitor effectiveness of adaptation after release – drawbacks in field investigations / E. Rochard, J. Gessner // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 30.

353. Rochard, E. Sturgeons (Pisces: *Acipenseridae*); threats and prospects / E. Rochard, G. Castelnaud, M. Lepage // J. Fish Biol. – 1990. – Vol. 37 – (suppl. A). – Vol. 123–132.

354. Role of coherence in interaction of opticalradiation with macromolecules / N. S. Leshenyuk // J. Appl Spectrosc. – 2006. – Vol. 73(2). – P. 251–258.

355. Rosenthal, H. Aquaculture for good or bad? What does aquaculture contribute in the sturgeon crisis / H. Rosenthal // Book of Abstracts «International sturgeon meeting ISM 2016», 01–05 June 2016, Krasnodar. – 2016. – P. 13.

356. Rubinov, A. N. Nonresonance Mechanisms of Biological Effects of Coherent and Incoherent Light / A. N. Rubinov, A. A. Afanas'ev // Optics and Spectroscopy. – 2005. – Vol. 98, № 6. – P. 943–948.

357. Ruchin, A. B. Effect of light on white blood cell count in carp *Cyprinus carpio* L. / A. B. Ruchin // Biology Bulletin. – 2006. – Vol. 33, № 5. – P. 517–520.

358. Ruchin, A. B. Effect of photoperiod on growth, physiologica and hematological indices of juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* / A. B Ruchin // Biology Bulletin. – 2007. – Vol. 34, № 6. – P. 583–589.

359. Ruchin, A. B. Influence of Colored Light on Growth rate of Juveniles of Fish / A. B Ruchin // Fish Physiology and Biochemistry. – 2004. – Vol. 30, № 2. – P. 175–178.

360. Searching the genome of beluga (*Huso huso*) for sex markers based on targeted Bulked Segregant Analysis (BSA) / M. Khodaparast [et al.] // Caspian Journal of Environmental Sciences. – 2014. – Vol. 12(2). – P. 185–195.

361. Seifi, T. The effect of different hormonal treatments on semen quality parameters in cultured and wild carp / T. Seifi, M. R. Imanpoor, A. Golpour // Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2011. – Vol. 11. – P. 595–602.

362. Semen of *Perca fluviatilis* L.: Sperm volume and density, seminal plasma indices and effects of dilution ratio, ions and osmolality on sperm motility / S. M. H. Alavi [et al.] // Theriogenology. – 2007. – Vol. 68. – P. 276–283.

363. Serum biochemical parameters of *Acipenser persicus* / F. Asadi [et al.] // Fish Physiology and Biochemistry. – 2006. – Vol. 32. – P. 43–47.

364. Serum biochemical parameters of farmed carp (*Cyprinus carpio*) / Tanți Patriche [et al.] // AACL BIOFLUX. – 2011. – Vol. 4, Is. 2. – P. 137–140.

365. Serum biochemical parameters of *Huso huso* / F. Asadi [et al.] // Comp Clin Pathol. – 2006. – Vol. 15. – P. 245–248.

366. Sex steroids and oocyte maturation in the starlet (*Acipenser ruthenus* L.) / T. B. Semenkova [et al.] // J. Appl. Ichthyol. – 2005. – Vol. 22. – P. 340–345.

367. Shahsavani, D. Determination of normal values of some blood serum enzymes in Acipenser stellatus Pallas / D. Shahsavani, M. Mohri, H. Gholipour Kanani // Fish Physiol Biochem. – 2010. – Vol. 36. – P. 39–43.

368. Short-term cold storage of Atlantic sturgeon sperm / M. N. DiLauro [et al.] // The Progressive Fish-Culurist. – 1994. – Vol. 56. – P. 143–144.

369. Shved, N. Enzyme–linked immunosorbent assay (ELISA) measurement of vitellogenin in plasma and liver histopathology in barfin plaice Liopsetta pinnifasciata from Amursky Bay, Sea of Japan / N. Shved [et al.] // Fish Physiol. Biochem. – 2011. – Vol. 37, № 4. – P. 781–799.

370. Smith, T. Status and management of *Atlantic sturgeon, Acipenser oxyrinchus*, in North America / T. Smith, J. Clugston // Environmental Biology of Fishes. – 1997. – Vol. 48. – P. 335–346.

371. Snieszko, S. The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes / S. Snieszko // J. of Fish Biology. – 1974. – Vol. 6. – P. 197–208.

372. Species Profile Production of Sturgeon / S. D. Mims [et al.] // Southern Regional Aquaculture Center. – 2002. – Publication № 7200. – P. 1–8.

373. Spectroscopic study and simulation from recent structural models for eumelanin. I. Monomer, Dimers / K. Stark [et al.] // J. of Physical Chemistry. – 2003. – Vol. 107, № 13. – P. 3061–3067.

374. Sperm attractant in the micropyle region of fish and insect eggs / R. Yanagimachi [et al.] // Biol Reprod. – 2013. – Vol. 88. – P. 1–11.

375. Sperm biology and control of reproduction in sturgeon: (II) Sperm morphology, acrosome reaction, motility and cryopreservation / S. Mohammad [et al.] // Reviews in Fish Biology and Fisheries. – 2012. – Vol. 22. – P. 861–886.

376. Sperm motility and fertilizing ability of frozen spermatozoa of males (XY) and neomales (XX) of perch (Perca fluviatilis) / M. Rodina [et al.] // J. Appl Ichthyol. – 2008. – Vol. 24. – P. 438–442.

377. Sperm motility of externally fertilizing fish and amphibians / R. K. Browne [et al.] // Theriogenology. – 2015. – Vol. 83. – P. 1–13.

378. Spontaneous activation of spermatozoa motility by routine freeze-thawing in different fish species / B. Dzyuba [et al.] // J. Appl Ichthyol. – 2010. – Vol. 26. – P. 720–725.

379. Sptatte, S. Ursachen für das Aussterben des Störs (*Acipenser sturio L.*) in Schleswig-Holstein und Gedanken zur Wiedereinbürgerung / S. Sptatte // Das Fischerblatt. – 1994. – Vol. 42(12). – P. 349–356.

380. State of World Aquaculture [Электронный ресурс]: World fisheries and aquaculture atlas, 3rd ed. – Электронные данные (288 MB). – Rome: FAO, 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

381. Status and management of Eurasian sturgeon: an overview / P. Williot [et al.] // International Review of Hydrobiology. – 2002. – Vol. 87. – P. 483–506.

382. Steffens, W. Störfang und Störzucht in der Sowjetunion / W. Steffens, J. Meyer // Z. Binnenfischerei DDR. – 1975. – Vol. 22. – P. 228–238.

383. Stickney, R. R. Aquaculture: an Introductory Text / R. R. Stickney. – CABI Publishing, UK – USA, 2005 – 39 p.

384. Stimulation of chemical reactions with laser radiation / N. Basor [et al.] // Chemical and biological application of lasers. – N.-Y., 1987. – P. 203–233.

385. Structural and functional aspects of laser irradiation and magnetic field influence on biological objects / V. I. Kozlov [et al.] // J. of Biomedical Optics. – 1993. – Vol. 2180. – P. 49–59.

386. Sturgeons (Pisces: *Acipenseridae*); threats and prospects / E. Rochard [et al.] // J. of Fish Biology. – 1990. – Vol. 37. – P. 123–132.

387. Tank wall colour and light level affect growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis* L.) / L. Tamazouzt [et al.] // Aquaculture. – 2000. – Vol. 182. – P. 85–90.

388. The effect of low-level laser irradiation on dog spermatozoa motility is dependent on laser output power / M. I. Corral-Baqués [et al.] // Lasers Med Sci. – 2009. – Vol. 24(5). – P. 703–713.

389. The efficacy of linear polarized polychromatic light on burn wound healing: an experimental study on rats / C. A. Karadag [et al.] // J. Burn Care & Research. – 2007. – Vol. 28, № 2. – P. 291–298.

390. The influence of zinc on sperm motility of common carp – a computer assisted studies / J. Chyb [et al.] // Archives of Polish Fisheries. – 2000. – Vol. 8(1). – P. 5–14.

391. The ionic and osmotic factors controlling motility of fish spermatozoa / J. Cosson // Aquacult. Int. – 2004. – Vol. 12. – P. 69–85.

392. The irradiation of rabbit sperm cells with He-Ne laser prevents their in vitro liquid storage dependent damage / N. Iaffaldanoa [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2010. – Vol. 119. – P. 123–129.

393. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in cultured fish / E. Rurangwa [et. al.] // Aquaculture. – 2004. – Vol. 234. – P. 1–28.

394. The role of the IGF-I system for vitellogenesis in maturing female sterlet, Acipenser ruthenus Linnaeus, 1758 / S. Wuertz [et al.] // General and Comparative Endocrinology. – 2007. – Vol. 150. – P. 140–150.

395. Thieren, E. Guide for the identification of archaeological sea sturgeon (*Acipenser sturio and A. oxyrinchus*) remains / E. Thieren, W. Wouters, W. Van Neer // Cybium. – 2015. – Vol. 39(3). – P. 175–192.

396. Tolkachev, V. A. Role of Light Polarization in the Optothermal Effect / Journal of Applied Spectroscopy. – 2004. – Vol. 71, № 1. – P. 139–142.

397. Toxicokinetics and biotransformation of p–nitrophenol in white sturgeon (Acipenser transmontanus) / P. L. TenBrook [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2006. – Vol. 64. – P. 362–368.

398. Trends in aquaculture production [Электронный ресурс]: World fisheries and aquaculture atlas, 3rd ed. – Электронные данные (288 MB). – Rome: FAO, 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

399. Trusov, V. Z. Method of estimation of the degree of gonadal maturity in sturgeon females / V. Z. Trusov // Rybnoe Khozyaistvo. – 1964. – Vol. 1. – P. 26–28.

400. Tunér, J. Laser Therapy. Clinical Practice and Scientific Background / J. Tunér, L. Hode. – Grängesberg: Prima Books, 2002. – 570 p.

401. Ubilla, A. Use of antioxidants on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) sperm diluent: effects on motility and fertilizing capability / A. Ubilla, I. Valdebenito // Lat. Am. J. Aquat. Res. – 2011. – Vol. 39(2). – P. 338–343.

402. Ueda, Y. Effects of pulse frequency of low-level laser therapy (LLLT) on bone nodule formation in rat calvarial cells / Y. Ueda, N. Shimizu // J. of Clinical Laser Medicine and Surgery. – 2003. – Vol. 21, № 5. – P. 271–277.

403. Ueda, Y. Pulse irradiation of low–power laser stimulates bone nodule formation / Y. Ueda, N. Shimizu // J. of Oral Science – 2001. – Vol. 43, № 1. – P. 55–60.

404. Use of endoscopy for gender and ovarian stage determinations in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) grown in aquaculture / A. Hurvitz [et al.] // Aquaculture. – 2007. – Vol. 270. – P. 158–166.

405. Using circulating reproductive hormones for sex determination of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*) in the Saco Riverestuary / C. R. Wheeler [et al.] // Maine. Conserv Physiol. – 2016. – Vol. 4(1). – P. 1–9.

406. Van Eenennaam, J. P. Sturgeon sexing, staging maturity and spawning induction workshop / J. P. Van Eenennaam, R. Bruch, R. Kroll // 4-th Inter. Symp. on Sturg., Oshkosh, WI, USA. – 2001. – 50 p.

407. Vecsei, P. Threatened fishes of the world: Acipenser oxyrinchus Mitchill, 1815 (*Acipenseridae*) / P. Vecsei // Environmental Biology of Fishes. – 2000. – Vol. 59. – P. 98.

408. vegan: Community Ecology Package / J. Oksanen [et al.]. – 2017. – R package version 2.4–3.

409. Venables, W. N. Modern Applied Statistics with S / W. N. Venables, B. D. Ripley // Fourth Edition. Springer. New York. – 2002.

410. Verbelen, J. Use of polarised light as a method of pressure ulcer prevention in an adult intensive care unit / J. Verbelen // J. Wound Care. – 2007. – Vol. 16, № 4. – P. 145–150.

411. Vertebral Development and Ossification in the Siberian Sturgeon (*Acipenser Baerii*), with New Insights on Bone Histology and Ultrastructure of Vertebral Eleme nts and Scutes / T. Leprévost [et al.] // Anat Rec (Hoboken). – 2017. – Vol. 300(3). – P. 437–449.

412. Wade, E. M. Optimization of caviar and meat production from white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) / E. M. Wade, J. G. Fadel // Agric. Syst. – 1997. Vol. 54. – P. 1–21.

413. Wei, T. Corrplot: Visualization of a Correlation Matrix / T. Wei, V. Simko // R package version 0.77. – 2016. – https://CRAN.R-project.org/package=corrplot

414. When the American sea sturgeon swam east / A. Ludwig [et al.] // Nature. – 2002. – Vol. 419. – P. 447–448.

415. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. Fifth edition. World Health Organization. – 2010. – 271 p.

416. Wickham, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis / H. Wickham. – Springer-Verlag New York, 2009.

417. Wickham, H. Reshaping Data with the reshape Package / H. Wickham // J. of Statistical Software. – 2007. – Vol. 21(12). – P. 1–20.

418. Williot, P. The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) / P. Williot, G. Nonnotte, M. Chebanov. – 2017. – Vol. 2. – 330 p.

419. Zona pellucida domain proteins / L. Jovine [et al.] // Annu. Rev. Biochem. – 2005. – Vol. 74. – P. 83–114.

420. Falahatkar, B. Gender Identification in Great Sturgeon (*Huso huso*) Using Morphology, Sex Steroids, Histology and Endoscopy / B. Falahatkar, S. Poursaeid // Anatomia, Histologia, Embryologia. – 2014. – Vol. 43(2). – P. 81–89.

421. Мастицкий, С. Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R / С. Э. Мастицкий, В. К. Шитиков. – Хайдельберг – Лондон – Тольятти. –2014. – Электронная книга. – http://r-analytics.blogspot.com.

422. Мастицкий, С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2 / С. Э. Мастицкий. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 222 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Атлас эхографических снимков развития гонад осетровых рыб, культивируемых в аквакультуре Беларуси

Рис. 1. Пример визуализации эхографического изображения гонады самца

Рис. 2. Пример визуализации эхографического изображения гонады самки

Самцы 2-й стадии зрелости (М2)

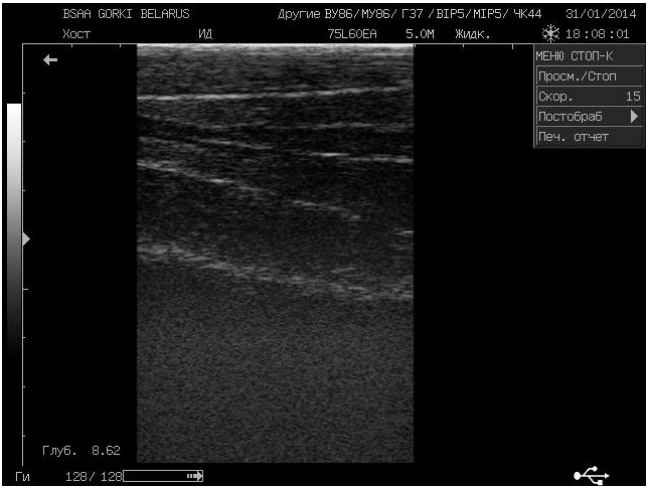


Рис. 3. Семенники стерляди 2-й стадии зрелости (М2). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 0,74 кг. Январь 2014 г.

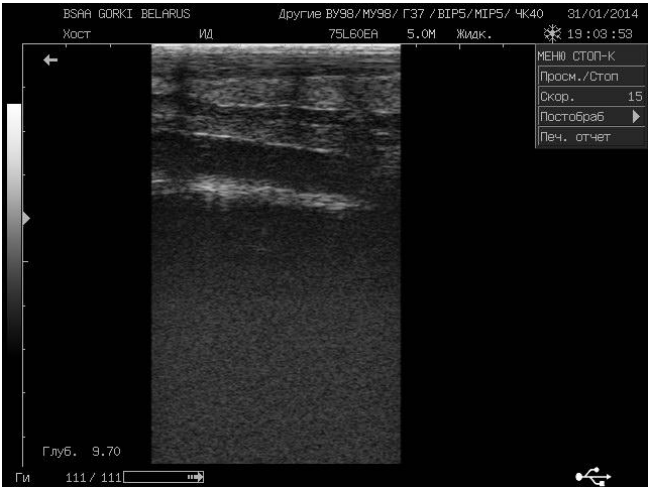


Рис. 4. Семенники стерляди 2-й стадии зрелости (М2). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 0,56 кг. Январь 2014 г.

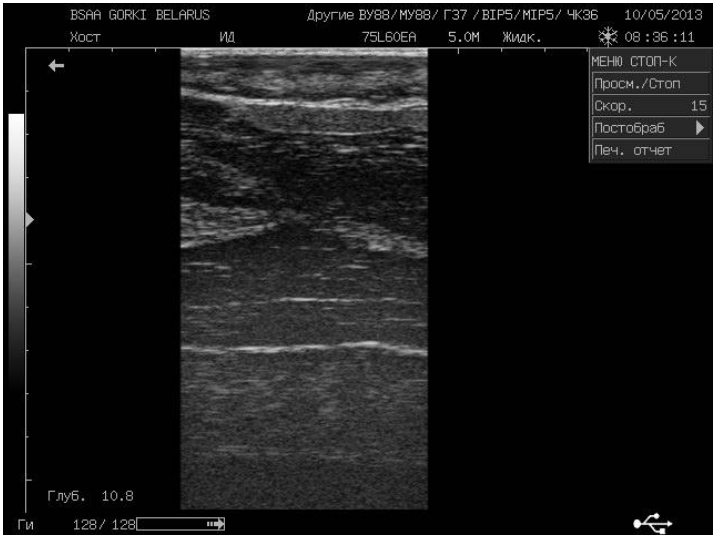


Рис. 5. Семенники веслоноса 2-й стадии зрелости (M2). Девятигодовик. Прудовое хозяйство. Вылов из зимовального пруда. Май 2013 г.

Рис. 6. Семенники веслоноса 2-й стадии зрелости (M2). Десятилетка. Прудовое хозяйство. Вылов из нагульного пруда. Сентябрь 2013 г.

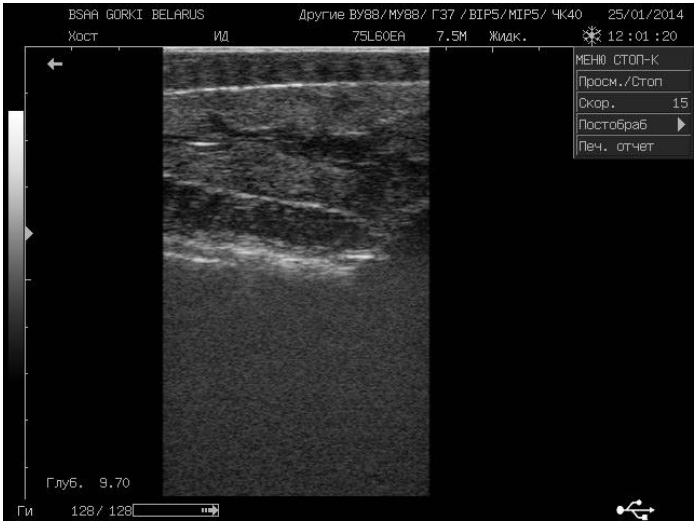


Рис. 11. Семенники стерляди 3-й стадии зрелости (М3). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 0,54 кг. Январь 2014 г.

Рис. 12. Семенники ленского осетра 3-й стадии зрелости (М3). Возраст – 3 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Февраль 2012 г.

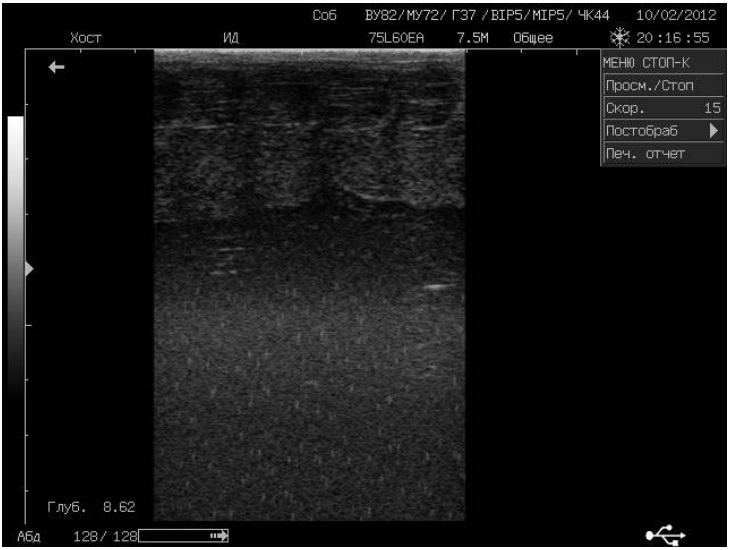


Рис. 13. Семенники ленского осетра 3-й стадии зрелости (М3). Возраст – 3 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Февраль 2012 г.

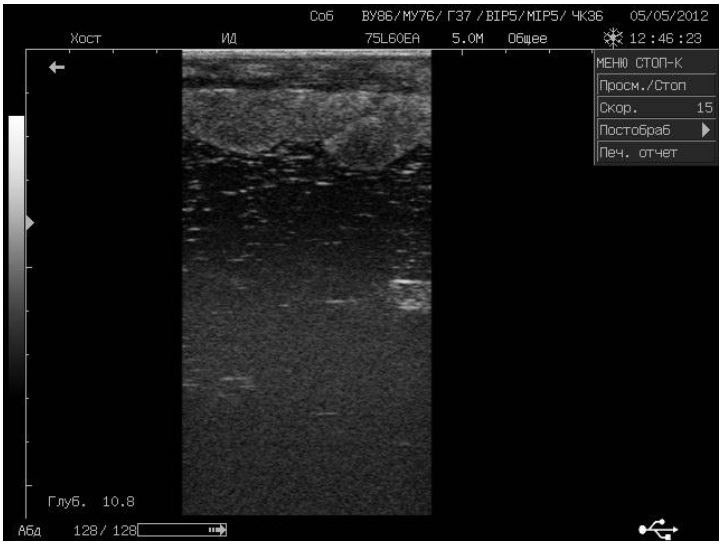


Рис. 14. Семенники веслоноса 3-й стадии зрелости (М3). Восьмигодовик. Прудовое хозяйство. Вылов из зимовального пруда. Май 2012 г.

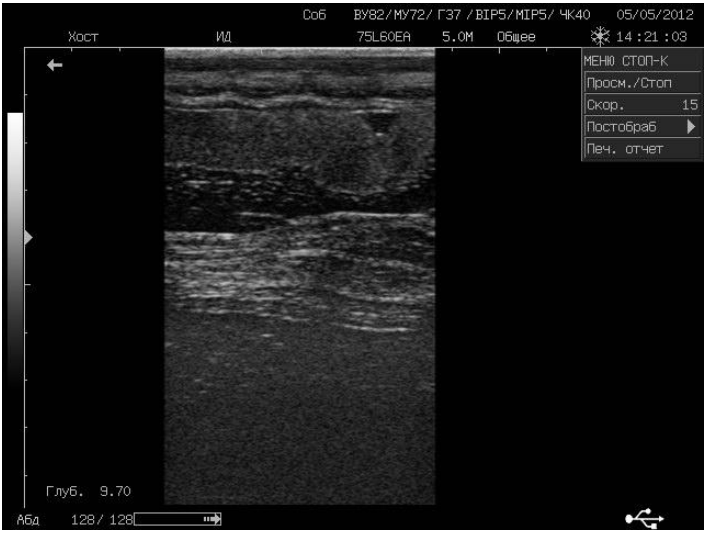


Рис. 15. Семенники веслоноса 3-й стадии зрелости (М3). Восьмигодовик. Прудовое хозяйство. Вылов из зимовального пруда. Май 2012 г.

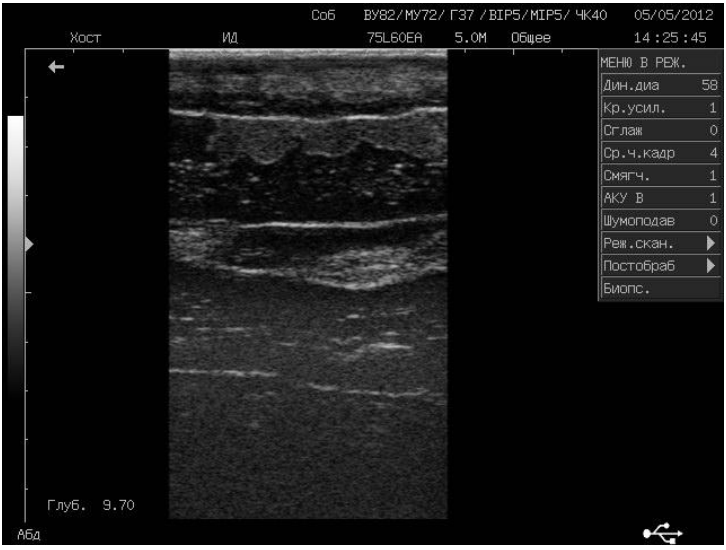


Рис. 16. Семенники веслоноса 3-й стадии зрелости (М3). Восьмигодовик. Прудовое хозяйство. Вылов из зимовального пруда. Май 2012 г.

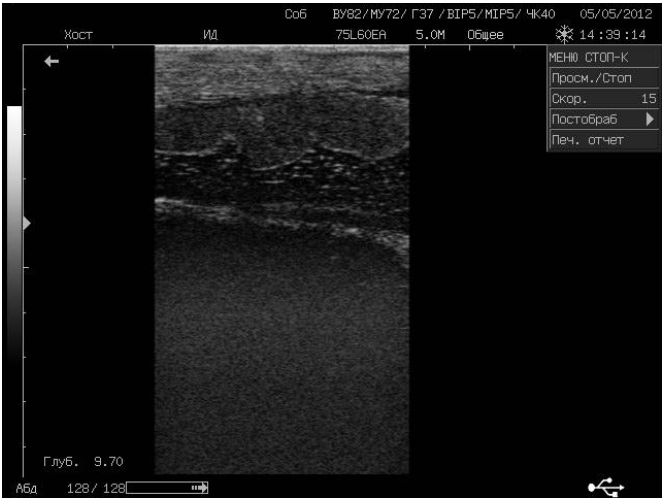


Рис. 17. Семенники веслоноса 3-й стадии зрелости (М3). Восьмигодовик. Прудовое хозяйство. Вылов из зимовального пруда. Май 2012 г.

Самцы 4-й стадии зрелости (М4)

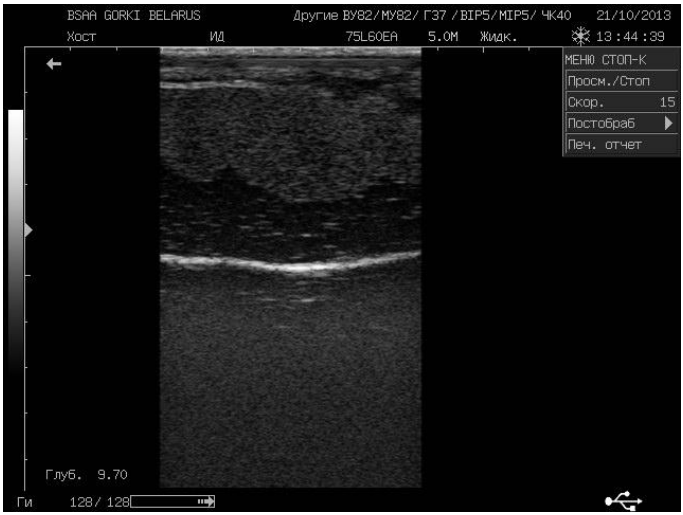


Рис. 18. Семенники веслоноса 4-й стадии зрелости (М4). Десятилетка. Прудовое хозяйство. Вылов из нагульного пруда. Октябрь 2013 г.

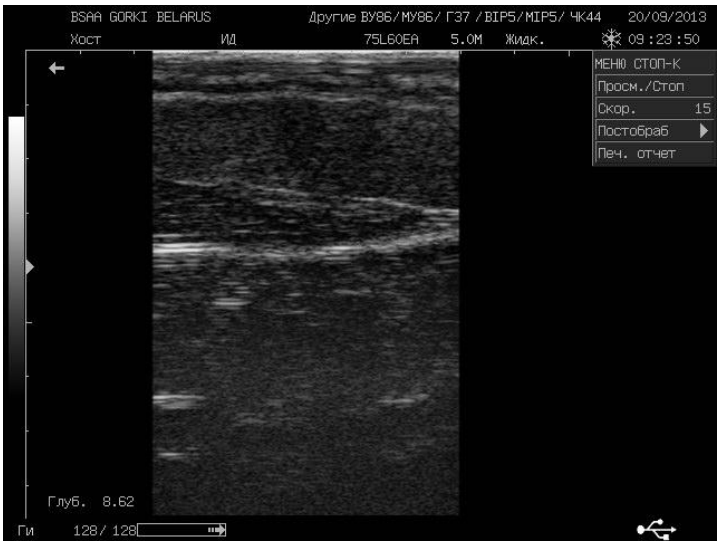


Рис. 19. Семенники веслоноса 4-й стадии зрелости (М4). Десятилетка. Прудовое хозяйство. Вылов из нагульного пруда. Сентябрь 2013 г.

Рис. 20. Семенники веслоноса 4-й стадии зрелости (М4). Десятилетка. Прудовое хозяйство. Вылов из нагульного пруда. Сентябрь 2013 г.

Самки 2-й стадии зрелости (F2)

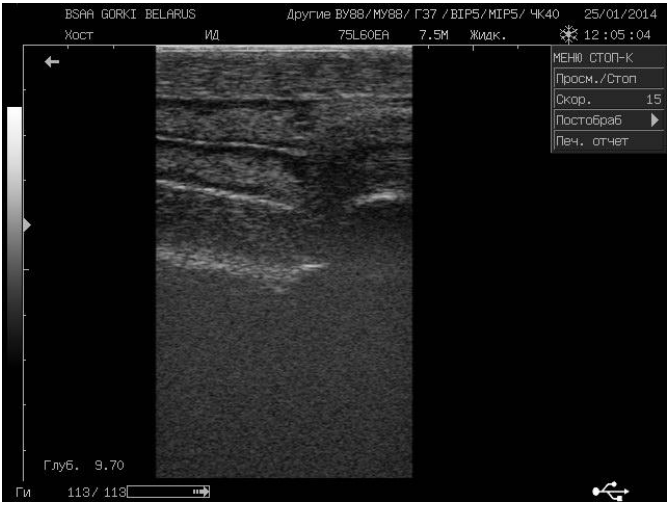


Рис. 21. Яичники стерляди 2-й стадии зрелости (F2). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 1,18 кг. Январь 2014 г.

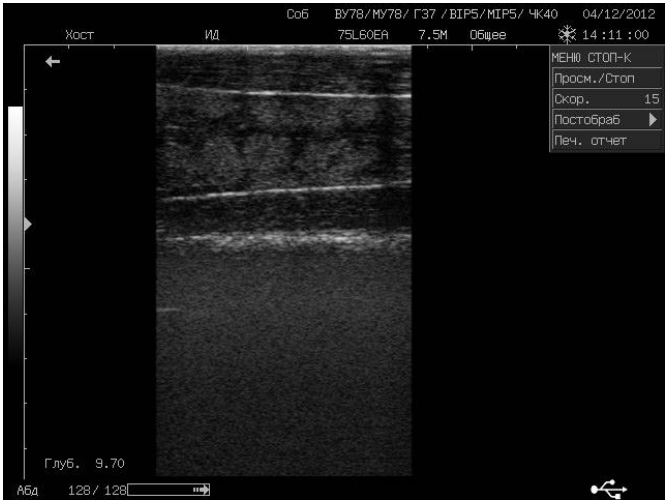


Рис. 22. Яичники стерляди 2-й стадии зрелости (F2). Возраст – 2,5 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Декабрь 2012 г.

Рис. 23. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр Х ленский осетр) 2-й стадии зрелости (F2). Десятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Август 2012 г.

Рис. 24. Яичники гибрида ленского осетра 2-й стадии зрелости (F2). Возраст – 3 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Февраль 2012 г.

Самки 2-й полужировая стадия зрелости (F2sf)

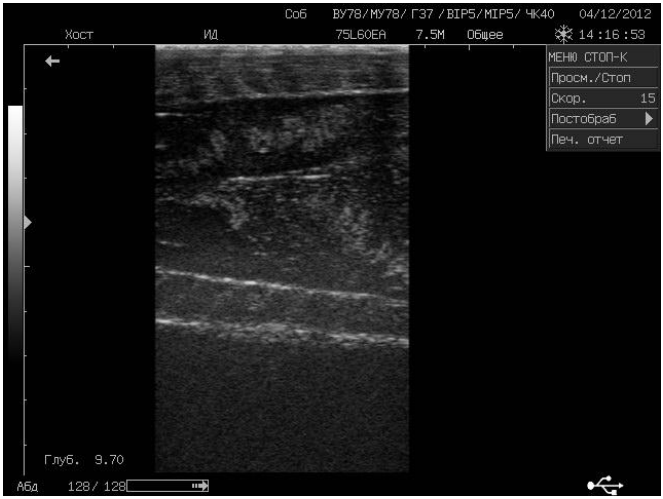


Рис. 25. Яичники стерляди 2-й полужировой стадии зрелости (F2sf). Возраст – 2,5 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Декабрь 2012 г.

Рис. 26. Яичники стерляди 2-й полужировой стадии зрелости (F2sf). Возраст – 2,5 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Декабрь 2012 г.

Рис. 27. Яичники гибрида ленского осетра 2-й полужировой стадии зрелости (F2sf). Возраст – 3 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Февраль 2012 г.

Самки 2-й жировой стадии зрелости (F2f)

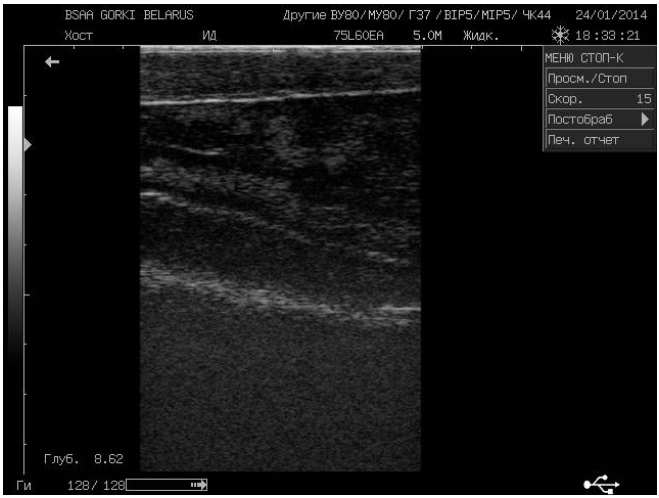


Рис. 28. Яичники стерляди II жировой стадии зрелости (F2f). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 1,12 кг. Январь 2014 г.

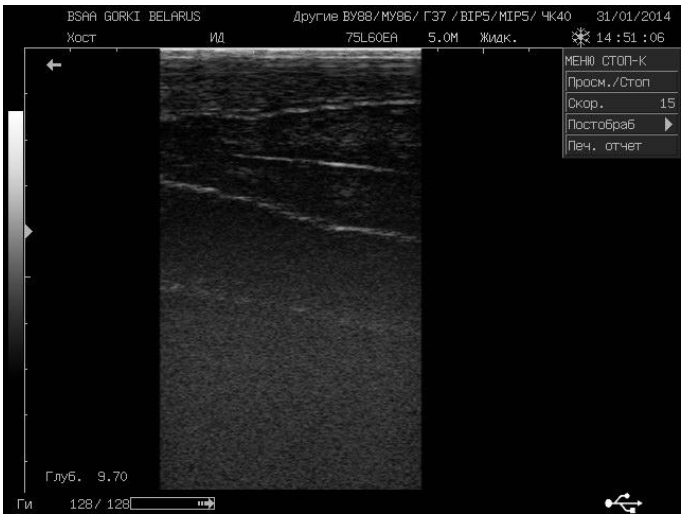


Рис. 29. Яичники стерляди 2-й жировой стадии зрелости (F2f). Возраст – 1 год 8 месяцев. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Масса – 1,38 кг. Январь 2014 г.

Рис. 30. Яичники гибрида бестера 2-й жировой стадии зрелости (F2f). Восьмилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Рис. 31. Яичники русского осетра 2-й жировой стадии зрелости (F2f). Восьмилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Ноябрь 2011 г.

Самки 2–3-й стадии зрелости (F2-3)

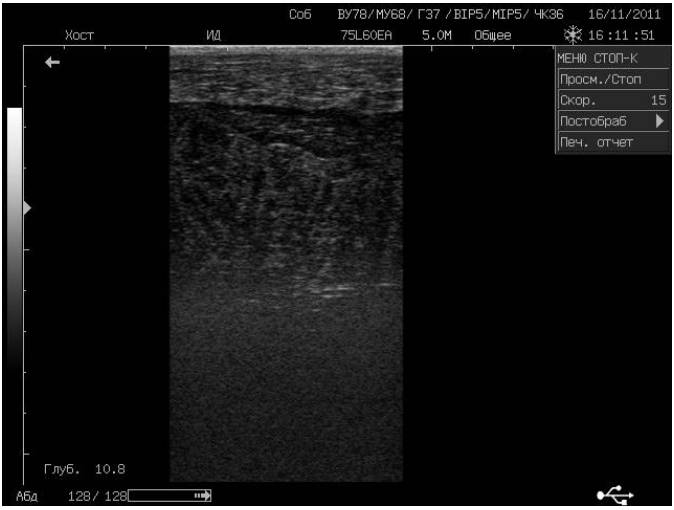


Рис. 32. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр Х ленский осетр) 2–3-й стадии зрелости (F2-3). Девятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Ноябрь 2011 г.

Рис. 33. Яичники гибрида ленского осетра 2–3-й стадии зрелости (F2-3). Возраст – 3 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Февраль 2012 г.

Самки 3-й стадии зрелости (F3)

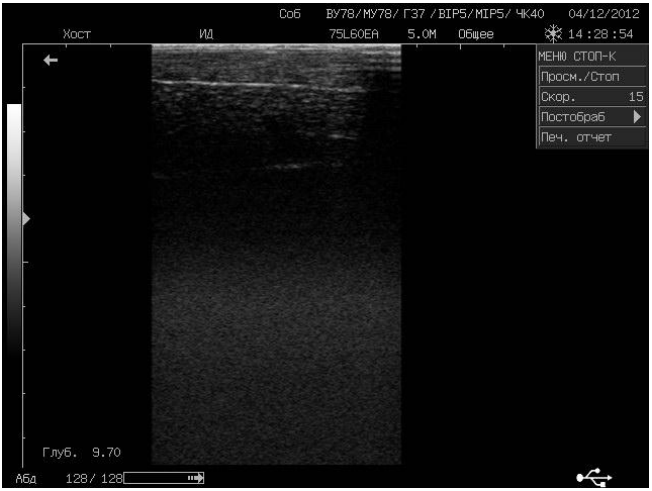


Рис. 34. Яичники стерляди 3-й стадии зрелости (F3). Возраст – 2,5 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Декабрь 2012 г.

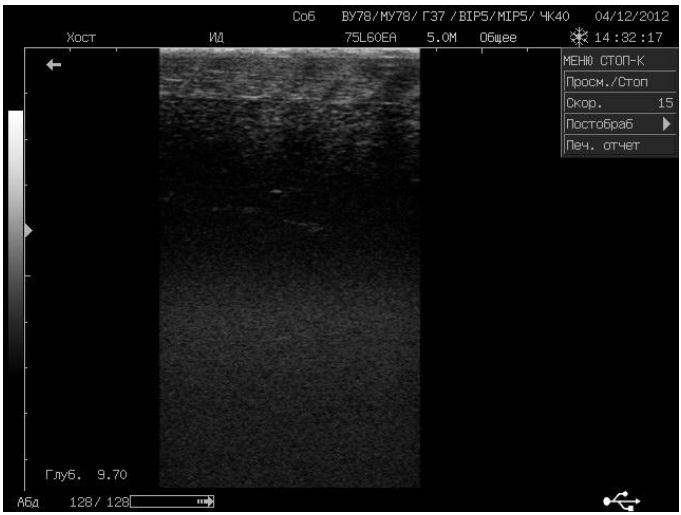


Рис. 35. Яичники стерляди 3-й стадии зрелости (F3). Возраст – 2,5 года. Установка замкнутого водоснабжения. Активное кормление. Декабрь 2012 г.

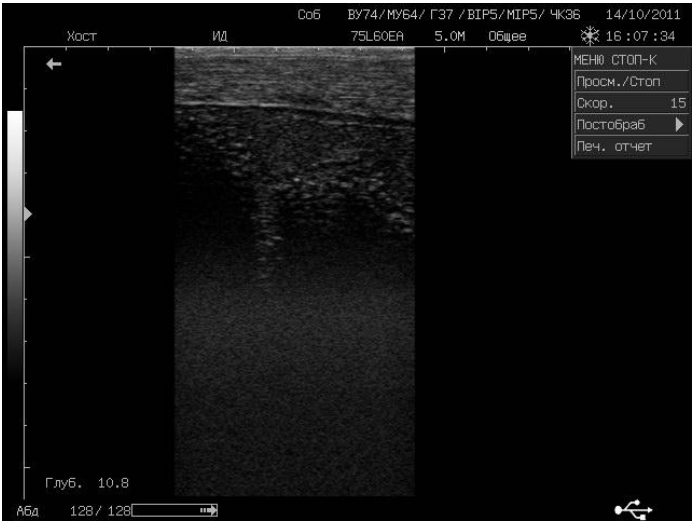


Рис. 36. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр Х ленский осетр) 3-й стадии зрелости (F3). Девятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Самки 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i)

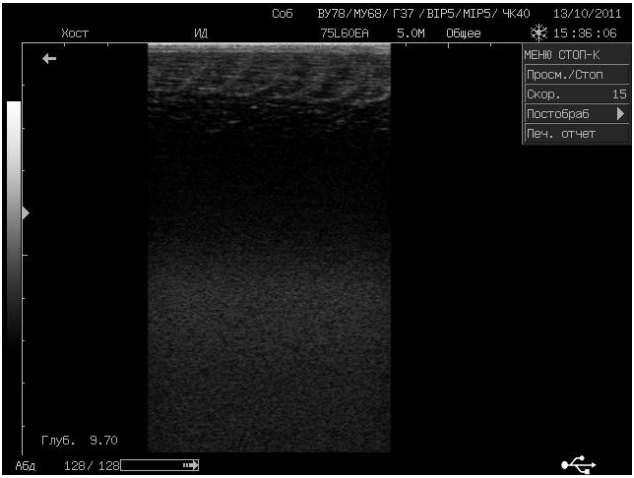


Рис. 37. Яичники стерляди 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i). Коэффициент поляризации 17,3. Пятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Рис. 38. Яичники стерляди 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i). Коэффициент поляризации 25,5. Пятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г

Рис. 39. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр × ленский осетр) 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i). Коэффициент поляризации 17,2. Девятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

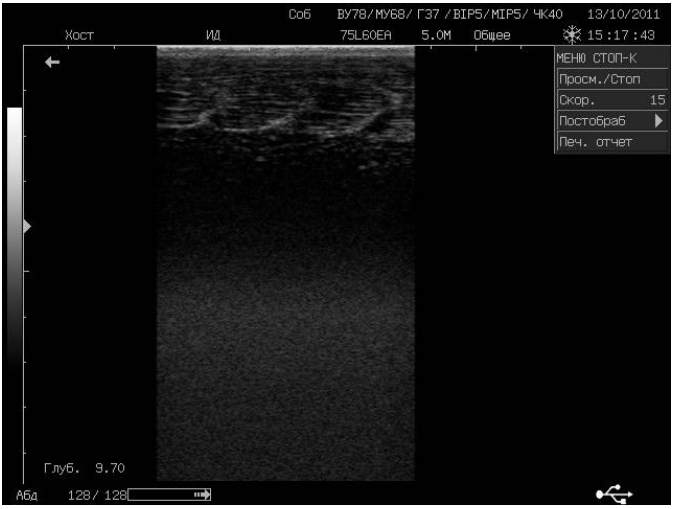


Рис. 40. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр × ленский осетр) 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i). Коэффициент поляризации 19,8. Девятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Рис. 41. Яичники гибрида бестера 4-й незаконченной стадии зрелости (F4i). Коэффициент поляризации 21,3. Восьмилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Самки 4-й завершенной стадии зрелости (F4c)

Рис. 42. Яичники гибрида РОЛО (русский осетр × ленский осетр) завершенной стадии зрелости (F4c). Коэффициент поляризации 7,5. Девятилетка. Установка замкнутого водоснабжения. Осенняя бонитировка. Октябрь 2011 г.

Таблица 1. **Активность AST в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)							
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	28	57,7427	59,3640	29,6820	79,7340	59,9460	14,77830	25,59336
несозревающее РМС (РО, №24)	3	56,4540	57,0360	45,3960	66,9300	21,5340	10,77879	19,09305
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	79,3183	83,8080	45,9780	105,9240	59,9460	22,23746	28,03573
несозревающее РМС (веслонос, №39)	12	85,8450	54,7080	46,5600	261,3180	214,7580	61,13217	71,21226
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	14	184,0783	180,4200	47,7240	355,0200	307,2960	91,93345	49,94258
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	7	155,5603	175,7640	86,1360	220,5780	134,4420	51,34559	33,00688
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	7	188,1523	203,1180	98,3580	257,2440	158,8860	62,58842	33,26477
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	181,5840	175,7640	162,3780	206,6100	44,2320	22,68307	12,49178
самки после нереста_отриц_ (РОЛО, № 33)	8	244,5127	222,9060	157,1400	366,6600	209,5200	78,89079	32,26449
самки после нереста_отриц_ (ЛО, № 34)	4	299,8755	277,0320	265,9740	379,4640	113,4900	53,34832	17,79016
самки после нереста_отриц_ (БС, № 35)	3	343,9620	360,8400	300,8940	370,1520	69,2580	37,58747	10,92780
самки после нереста_отриц_ (С, № 36)	7	152,4840	182,1660	20,9520	243,8580	222,9060	86,38273	56,65036
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	8	145,0635	148,7010	77,9880	243,2760	165,2880	52,16222	35,95820
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	8	130,1498	126,5850	104,7600	190,8960	86,1360	28,06378	21,56268

Таблица 2. **Активность ALT в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	28	11,59843	11,05800	4,07400	26,1900	31,4280	6,95327	59,9501	1,31404
несозревающее РМС (РО, №24)	3	14,35600	14,55000	5,82000	22,6980	16,8780	8,44067	58,7954	4,87322
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	79,31829	83,80800	45,97800	105,9240	59,9460	22,23746	28,0357	8,40497
несозревающее РМС (веслонос, №39)	12	10,18500	9,31200	1,16400	21,5340	20,3700	5,95339	58,4525	1,71860
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	14	46,68471	37,53900	4,07400	175,7640	171,6900	44,28744	94,8650	11,83632
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	7	19,45543	16,29600	7,56600	33,1740	25,6080	8,61188	44,2646	3,25498
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	7	21,61714	20,95200	8,14800	36,6660	28,5180	8,64179	39,9766	3,26629
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	24,83200	22,69800	21,53400	30,2640	8,7300	4,74012	19,0887	2,73671
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	7	65,10086	40,15800	23,86200	218,8320	194,9700	68,65169	105,4544	25,94790
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	4	33,17400	31,71900	22,69800	46,5600	23,8620	10,02438	30,2176	5,01219
самки после нереста_отриц._ (БС, № 35)	8	24,08025	18,91500	16,87800	40,7400	23,8620	9,92056	41,1979	3,50745
самки после нереста_отриц._ (С, № 36)	7	77,15657	26,77200	17,46000	189,1500	171,6900	74,01006	95,9219	27,97318
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	8	17,60550	18,33300	9,31200	24,4440	15,1320	5,39500	30,6439	1,90742
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	8	17,82375	17,75100	13,96800	22,6980	8,7300	2,78141	15,6050	0,98338

Таблица 3. **Активность ALP в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	27	79,8830	65,4147	40,53867	158,4693	143,7280	38,18455	47,80059	7,34862
несозревающее РМС (РО, №24)	3	54,0516	55,2800	48,83070	58,0440	9,2133	4,72790	8,74701	2,72965
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	52,2528	46,9880	32,24667	81,0773	48,8307	16,86916	32,28377	6,37594
несозревающее РМС (веслонос, №39)	9	104,2129	108,7170	71,86400	128,0650	56,2010	20,25062	19,43196	6,75021
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	14	41,1968	38,6960	13,82000	78,3133	64,4933	23,71201	57,55796	6,33730
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	7	50,9366	45,1453	16,58400	85,6840	69,1000	26,77004	52,55564	10,11813
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	7	55,9381	50,6733	26,71870	89,3693	62,6506	24,53650	43,86366	9,27392
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	46,6809	51,5947	29,48270	58,9653	29,4826	15,34324	32,86835	8,85842
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	8	77,5072	74,6280	40,53870	120,6950	80,1563	24,40325	31,48515	8,62785
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	4	55,7406	55,7407	52,51600	58,9653	6,4493	3,72351	6,68005	1,86175
самки после нереста_отриц._ (БС, № 35)	8	79,0044	77,8527	39,61730	131,7510	92,1337	33,80459	42,78823	11,95173
самки после нереста_отриц._ (С, № 36)	7	60,8080	49,7520	28,56130	126,2230	97,6617	31,48313	51,77462	11,89951
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	8	27,2945	24,8760	22,11200	38,6960	16,5840	6,18907	22,67515	2,18817
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	8	34,5500	32,7074	18,42670	59,8867	41,4600	12,40016	35,89048	4,38412

Таблица 4. **Активность GGT в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
Variable	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	28	13,60650	13,12400	3,860000	25,09000	37,82800	7,47790	54,9583	1,413191
несозревающее РМС (РО, №24)	3	12,86667	13,12400	6,176000	19,30000	13,12400	6,56578	51,0294	3,790757
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	8,93314	5,40400	2,316000	31,26600	28,95000	10,07657	112,7998	3,808585
несозревающее РМС (веслонос, №39)	12	8,94233	9,26400	1,544000	15,82600	14,28200	4,90424	54,8430	1,415732
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	9	5,31822	2,31600	0,386000	17,75600	17,37000	6,99815	131,5882	2,332718
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	3	10,29333	11,96600	5,018000	13,89600	8,87800	4,66938	45,3631	2,695866
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	5	5,55840	2,70200	2,702000	16,59800	13,89600	6,17359	111,0677	2,760912
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	3,47400	3,86000	1,544000	5,01800	3,47400	1,76887	50,9175	1,021260
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	8	7,96125	5,01800	0,386000	22,77400	22,38800	8,46925	106,3810	2,994334
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	2	5,40400	5,40400	3,474000	7,33400	3,86000	2,72943	50,5076	1,930000
самки после нереста_отриц._ (БС, № 35)	6	3,28100	3,08800	3,088000	3,86000	0,77200	0,32295	9,8431	0,131844
самки после нереста_отриц._ (С, № 36)	7	5,29371	5,40400	1,158000	10,03600	8,87800	3,62590	68,4944	1,370460
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	5	3,93720	3,47400	1,158000	6,56200	5,40400	2,37005	60,1964	1,059920
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	7	2,31600	1,93000	1,544000	4,63200	3,08800	1,06879	46,1479	0,403963

Таблица 5. **Активность LDH в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	4	943,742	956,559	841,880	1019,970	178,0900	76,5229	8,10845	38,2614
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	4	895,172	894,497	634,108	1157,585	523,4767	224,6960	25,10087	112,3480
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	2	789,263	789,263	447,923	1130,602	682,6787	482,7267	61,16174	341,3393
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	2	1308,692	1308,692	1138,697	1478,687	339,9900	240,4092	18,37019	169,9950
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	2	1063,143	1063,143	798,707	1327,580	528,8733	373,9699	35,17587	264,4366
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	3	923,729	998,383	534,270	1238,535	704,2650	358,0184	38,75793	206,7020
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	5	1268,756	1332,977	1079,333	1413,927	334,5940	138,4380	10,91132	61,9114

Таблица 6. **Активность LDH-1 в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	4	445,8996	449,2725	415,5433	469,510	53,9667	26,5641	5,95742	13,2821
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	4	379,7904	356,1800	315,7050	491,097	175,3917	79,1422	20,83838	39,5711
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	2	373,7192	373,7192	296,8167	450,622	153,8050	108,7566	29,10114	76,9025
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	2	891,7992	891,7992	488,3983	1295,200	806,8017	570,4950	63,97124	403,4008
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	2	671,8850	671,8850	415,5433	928,227	512,6834	362,5219	53,95595	256,3417
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	4	542,3650	493,7950	248,2467	933,623	685,3766	287,8166	53,06695	143,9083
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	5	789,5323	758,2317	679,9800	944,417	264,4367	102,8663	13,02877	46,0032

Таблица 7. **Концентрация Phosphorus в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
Variable	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	28	1,811521	1,867308	1,196923	2,169925	1,229856	0,290175	16,01829	0,054838
несозревающее РМС (РО, №24)	3	1,866920	1,741450	1,515385	2,343925	0,828540	0,428283	22,94064	0,247270
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	1,701961	1,788462	1,085385	1,980000	0,894615	0,310659	18,25301	0,117418
несозревающее РМС (веслонос, №39)	12	2,434167	1,940000	1,650000	4,060000	2,410000	0,930996	38,24702	0,268755
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	13	1,605385	1,580000	1,190000	2,550000	1,360000	0,342116	21,31055	0,094886
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	6	1,461667	1,420000	1,140000	1,790000	0,650000	0,273673	18,72332	0,111726
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	8	2,056250	1,605000	1,470000	3,610000	2,140000	0,880583	42,82472	0,311333
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	1,346667	1,360000	1,250000	1,430000	0,180000	0,090738	6,73795	0,052387
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	8	1,693750	1,720000	1,290000	2,010000	0,720000	0,241125	14,23614	0,085250
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	4	1,638543	1,655000	1,550000	1,694173	0,144173	0,061984	3,78290	0,030992
самки после нереста_отриц._ (БС, № 35)	8	1,635000	1,630000	1,220000	1,950000	0,730000	0,220778	13,50323	0,078057
самки после нереста_отриц._ (С, № 36)	7	1,690000	1,680000	1,530000	1,850000	0,320000	0,114018	6,74660	0,043095
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	8	1,700000	1,640000	1,410000	2,040000	0,630000	0,216003	12,70604	0,076368
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	8	1,825000	1,810000	1,310000	2,210000	0,900000	0,283599	15,53969	0,100267

Таблица 8. **Концентрация ТР в сыворотке крови ремонтно-маточного стада и производителей осетровых рыб в зависимости от различного физиологического состояния**

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)								
	Valid N	Mean	Median	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
несозревающее РМС (РОЛО, №23)	27	59,76748	60,72727	41,38182	74,69091	45,09084	9,98232	16,70193	1,921099
несозревающее РМС (РО, №24)	3	50,99693	52,50909	41,96253	58,51918	16,55665	8,38127	16,43484	4,838926
несозревающее РМС (ЛО, №25)	7	68,69102	68,50909	53,23636	95,78182	42,54546	14,11122	20,54303	5,333538
несозревающее РМС (веслонос, №39)	12	52,79167	51,80000	41,70000	67,20000	25,50000	8,12028	15,38175	2,344124
самки после нереста_+_ (РОЛО, № 28)	11	35,17273	36,40000	26,70000	48,80000	22,10000	6,79413	19,31647	2,048507
самки после нереста_+_ (ЛО, № 29)	4	35,30000	35,40000	30,90000	39,50000	8,60000	4,85249	13,74643	2,426245
самки после нереста_+_ (БС, № 31)	8	45,60000	43,65000	40,10000	53,00000	12,90000	4,80416	10,53545	1,698529
самки после нереста_+_ (С, № 32)	3	49,33333	50,80000	37,30000	59,90000	22,60000	11,37116	23,04965	6,565144
самки после нереста_отриц._ (РОЛО, № 33)	6	52,10000	51,45000	40,60000	66,00000	25,40000	8,43374	16,18760	3,443061
самки после нереста_отриц._ (ЛО, № 34)	4	44,20000	41,90000	38,70000	54,30000	15,60000	7,03847	15,92413	3,519233
самки после нереста_отриц._ (БС, № 35)	8	48,15000	48,70000	30,90000	59,30000	28,40000	8,77545	18,22524	3,102591
самки после нереста_отриц._ (С, № 36)	4	50,75000	51,00000	44,90000	56,10000	11,20000	4,86381	9,58387	2,431906
нормальносозревающее РМС II ст. (С, №46)	8	46,92500	47,85000	36,30000	55,10000	18,80000	5,19498	11,07082	1,836704
нормальносозревающее РМС III-IV ст. (С, №47)	8	51,10000	50,30000	44,60000	59,70000	15,10000	5,21810	10,21155	1,844877

Таблица 1. **Концентрация гормонов у самцов стерляди на 2-й и 3-й стадии зрелости в условиях активного нагула в УЗВ**

Variable	M. stage II-III (feeding)										
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
Testosterone, nmol/l	38	31,20789	6,72500	0,23000	100,0000	0,33000	100,0000	99,7700	37,23711	119,3195	6,04066
Cortisol, nmol/l	29	56,22345	34,14000	21,21000	363,2200	21,34000	174,3400	342,0100	68,24822	121,3875	12,67338
Estradiol, nmol/l	41	0,47127	0,47500	0,22500	0,9090	0,23300	0,7190	0,6840	0,15682	33,2756	0,02449
DHEAS μg/ml	41	0,11232	0,09600	0,06000	0,2280	0,06300	0,1760	0,1680	0,03948	35,1499	0,00617

Таблица 2. **Концентрация гормонов у самок стерляди на 2-й стадии зрелости в условиях активного нагула в УЗВ**

Variable	F. stage II (feeding)										
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Percentile 5,000000	Percentile 95,00000	Range	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
Testosterone, nmol/l	35	14,4931	1,96000	0,13000	100,000	0,13000	100,0000	99,870	28,0431	193,4925	4,74016
Cortisol, nmol/l	28	168,7464	35,46000	20,23000	2000,000	21,13000	518,1600	1979,770	384,1023	227,6210	72,58852
Estradiol, nmol/l	47	0,3927	0,36700	0,11100	0,757	0,19000	0,7040	0,646	0,1505	38,3181	0,02195
DHEAS μg/ml	47	0,0786	0,07800	0,04400	0,144	0,05400	0,1030	0,100	0,0187	23,7909	0,00273

Таблица 3. **Сравнение концентрации тестостерона в сыворотке крови самок осетровых между различными стадиями зрелости яичников в условиях установок замкнутого водоснабжения (Н-тест Крускала-Уоллиса)**

Depend.: Testosterone, nmol/l	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Testosterone, nmol/l (Spreadsheet5) Independent (grouping) variable: Groups Kruskal-Wallis test: H (8, N= 193) =58,04972 p =,0000								
	F. stage I R:126,10	F. stage II (feeding) R:54,787	F. stage II (wintering) R:142,25	F. stage II (abnormal) R:110,53	F. stage III R:121,25	F. s tage III (wintering) R:183,43	F. stage IV R:109,35	F. stage VI (positive) R:89,941	F. stage VI (negative) R:95,188
F. stage I		0,000062	1,000000	1,000000	1,000000	0,699754	1,000000	0,778037	1,000000
F. stage II (feeding)	0,000062		0,001526	0,000335	1,000000	0,000000	0,020065	0,186656	0,141878
F. stage II (wintering)	1,000000	0,001526		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,617998	1,000000
F. stage II (abnormal)	1,000000	0,000335	1,000000		1,000000	0,059925	1,000000	1,000000	1,000000
F. stage III	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
F. stage III (wintering)	0,699754	0,000000	1,000000	0,059925	1,000000		0,113315	0,001988	0,008478
F. stage IV	1,000000	0,020065	1,000000	1,000000	1,000000	0,113315		1,000000	1,000000
F. stage VI (positive)	0,778037	0,186656	0,617998	1,000000	1,000000	0,001988	1,000000		1,000000
F. stage VI (negative)	1,000000	0,141878	1,000000	1,000000	1,000000	0,008478	1,000000	1,000000	

Таблица 4. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 1-й и 2-й стадиями зрелости в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet65) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage I	Rank Sum F. stage II (feeding)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage I	Valid N F. stage II (feeding)	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	984,0000	1294,000	166,0000	4,16530	0,000031	4,16546	0,000031	20	47	0,000013
Progesterone, nmol/l	172,0000	234,000	19,0000	-3,50451	0,000458	-3,50451	0,000458	17	11	0,000183
FSH, IU/l	29,0000	91,000	19,0000	-0,39167	0,695299	-0,39167	0,695299	4	11	0,753114
LH, IU/l	75,0000	135,000	30,0000	-1,48149	0,138478	-1,48149	0,138478	9	11	0,151941
Estradiol, nmol/l	672,0000	1408,000	280,0000	1,81647	0,069299	1,81649	0,069296	17	47	0,070215
DHEAS μg/ml	357,0000	1128,000	0,0000	4,23621	0,000023	4,23750	0,000023	7	47	0,000000
CG, IU/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	11	0	0,000000

Таблица 5. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 2-й нормально развивающейся стадией и 2-й туго развивающейся стадией в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet67) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage II (feeding)	Rank Sum F. stage II (abnormal)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage II (feeding)	Valid N F. stage II (abnormal)	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	1429,500	1891,500	301,5000	-4,76089	0,000002	-4,76103	0,000002	47	34	0,000001
Progesterone, nmol/l	149,500	445,500	83,5000	-1,58294	0,113436	-1,58355	0,113298	11	23	0,114434
FSH, IU/l	205,000	425,000	125,0000	0,24873	0,803567	0,24873	0,803567	11	24	0,820127
LH, IU/l	173,000	457,000	107,0000	-0,88834	0,374361	-0,88834	0,374361	11	24	0,389710
Estradiol, nmol/l	1128,000	468,000	0,0000	-4,71839	0,000002	-4,71847	0,000002	47	9	0,000000
DHEAS μg/ml	1128,000	468,000	0,0000	-4,71839	0,000002	-4,71968	0,000002	47	9	0,000000
CG, IU/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	5	0,000000

Таблица 6. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между самками с положительным и отрицательным ответом на гормональные инъекции в период нереста в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet79) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage VI (positive)	Rank Sum F. stage VI (negative)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage VI (positive)	Valid N F. stage VI (negative)	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	1005,000	706,0000	406,0000	0,031575	0,974811	0,031577	0,974809	34	24	0,981260
Progesterone, nmol/l	523,000	380,0000	170,0000	1,259216	0,207953	1,259216	0,207953	22	20	0,214989
FSH, IU/l	142,000	11,0000	5,0000	2,015811	0,043821	2,015811	0,043821	14	3	0,047059
LH, IU/l	515,000	188,0000	52,0000	3,556208	0,000376	3,556208	0,000376	21	16	0,000198
Estradiol, nmol/l	624,000	504,0000	179,0000	2,046727	0,040686	2,046727	0,040686	22	25	0,040950
DHEAS μg/ml	570,500	557,5000	232,5000	0,906103	0,364882	0,906182	0,364840	22	25	0,368311
CG, IU/l	257,500	270,5000	99,5000	1,006652	0,314103	1,007113	0,313881	14	18	0,318870

Таблица 7. **Сравнение концентрации прогестерона в сыворотке крови самок осетровых между различными стадиями зрелости яичников в условиях установок замкнутого водоснабжения (Н-тест Крускала-Уоллиса)**

	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Progesterone, nmol/l (Spreadsheet5) Independent (grouping) variable: Groups Kruskal-Wallis test: H (8, N= 126) =73,60451 p =,0000								
Depend.: Progesterone, nmol/l	F. stage I R:55,647	F. stage II (feeding) R:94,727	F. stage II (wintering) R:50,000	F. stage II (abnormal) R:104,39	F. stage III R:87,000	F. s tage III (wintering) R:52,857	F. stage IV R:77,656	F. stage VI (positive) R:43,977	F. stage VI (negative) R:22,900
F. stage I		0,204494	1,000000	0,001081	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,236150
F. stage II (feeding)	0,204494		0,302030	1,000000	1,000000	0,637836	1,000000	0,006032	0,000006
F. stage II (wintering)	1,000000	0,302030		0,010251	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
F. stage II (abnormal)	0,001081	1,000000	0,010251		1,000000	0,038817	0,882607	0,000001	0,000000
F. stage III	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,645758
F. stage III (wintering)	1,000000	0,637836	1,000000	0,038817	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
F. stage IV	1,000000	1,000000	1,000000	0,882607	1,000000	1,000000		0,180021	0,000281
F. stage VI (positive)	1,000000	0,006032	1,000000	0,000001	1,000000	1,000000	0,180021		1,000000
F. stage VI (negative)	0,236150	0,000006	1,000000	0,000000	0,645758	1,000000	0,000281	1,000000	

Таблица 8. **Сравнение концентрации эстрадиола в сыворотке крови самок осетровых между различными стадиями зрелости яичников в условиях установок замкнутого водоснабжения (Н-тест Крускала-Уоллиса)**

Depend.: Estradiol, nmol/l	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Estradiol, nmol/l (Spreadsheet32) Independent (grouping) variable: Groups Kruskal-Wallis test: H (7, N= 136) =76,78271 p =,0000							
	F. stage I R:68,206	F. stage II (feeding) R:31,170	F. stage II (wintering) R:67,875	F. stage II (abnormal) R:104,89	F. stage III R:78,500	F. s tage III (wintering) R:83,667	F. stage VI (positive) R:104,95	F. stage VI (negative) R:89,460
F. stage I		0,025118	1,000000	0,669926	1,000000	1,000000	0,108536	1,000000
F. stage II (feeding)	0,025118		0,416342	0,000008	1,000000	0,059316	0,000000	0,000000
F. stage II (wintering)	1,000000	0,416342		1,000000	1,000000	1,000000	0,634270	1,000000
F. stage II (abnormal)	0,669926	0,000008	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
F. stage III	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
F. stage III (wintering)	1,000000	0,059316	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
F. stage VI (positive)	0,108536	0,000000	0,634270	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
F. stage VI (negative)	1,000000	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

Таблица 9. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 2-й и 3-й стадиями зрелости в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet69) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage II (feeding)	Rank Sum F. s tage III (wintering)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage II (feeding)	Valid N F. s tage III (wintering)	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	1132,000	353,0000	4,00000	-4,13320	0,000036	-4,13351	0,000036	47	7	0,000000
Progesterone, nmol/l	143,000	28,0000	0,00000	3,48682	0,000489	3,48682	0,000489	11	7	0,000063
FSH, IU/l	81,000	10,0000	7,00000	0,78954	0,429796	0,78954	0,429796	11	2	0,512821
LH, IU/l	87,000	18,0000	12,00000	0,70065	0,483523	0,70065	0,483523	11	3	0,554945
Estradiol, nmol/l	1128,000	303,0000	0,00000	-3,95811	0,000076	-3,95819	0,000076	47	6	0,000000
DHEAS μg/ml			0,00000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	47	0	0,000000
CG, IU/l			0,00000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	0	0,000000

Таблица 10. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 3-й и 4-й стадиями зрелости в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet71) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. s tage III (wintering)	Rank Sum F. stage IV	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. s tage III (wintering)	Valid N F. stage IV	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	147,0000	153,0000	0,00000	3,77889	0,000158	3,78053	0,000157	7	17	0,000006
Progesterone, nmol/l	42,0000	234,0000	14,00000	-2,80624	0,005013	-2,80763	0,004991	7	16	0,003532
FSH, IU/l	14,0000	157,0000	11,00000	-0,70244	0,482406	-0,70280	0,482180	2	16	0,549020
LH, IU/l	21,0000	189,0000	15,00000	-1,11144	0,266381	-1,11186	0,266201	3	17	0,305263
Estradiol, nmol/l			0,00000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	6	0	0,000000
DHEAS μg/ml			0,00000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	0	0,000000

Таблица 11. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 2-й и 4-й стадиями зрелости в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet73) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage II (feeding)	Rank Sum F. stage IV	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage II (feeding)	Valid N F. stage IV	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	1289,000	791,0000	161,0000	-3,62534	0,000289	-3,62559	0,000288	47	17	0,000170
Progesterone, nmol/l	194,500	183,5000	47,5000	1,99853	0,045660	1,99944	0,045561	11	16	0,044271
FSH, IU/l	168,000	210,0000	74,0000	0,69085	0,489661	0,69095	0,489594	11	16	0,511806
LH, IU/l	132,500	273,5000	66,5000	-1,27009	0,204053	-1,27044	0,203930	11	17	0,207828
Estradiol, nmol/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	47	0	0,000000
DHEAS μg/ml			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	47	0	0,000000
CG, IU/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	0	0,000000

Таблица 12. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 4-й стадией и 6-й стадией (с положительным ответом на стимулирующее инъецирование) в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet75) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum F. stage IV	Rank Sum F. stage VI (positive)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N F. stage IV	Valid N F. stage VI (positive)	2
Testosterone, nmol/l	543,0000	783,0000	188,0000	2,01812	0,043580	2,01825	0,043566	17	34	0
Progesterone, nmol/l	402,0000	339,0000	86,0000	2,66091	0,007793	2,66120	0,007787	16	22	0
FSH, IU/l	179,0000	286,0000	43,0000	-2,86837	0,004126	-2,86869	0,004122	16	14	0
LH, IU/l	376,0000	365,0000	134,0000	1,30642	0,191409	1,30650	0,191385	17	21	0
Estradiol, nmol/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	22	0
DHEAS μg/ml			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	22	0
CG, IU/l			0,0000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	0	14	0

Таблица 13. **Сравнение концентрации гормонов в сыворотке крови самок осетровых между 4-й стадией и 6-й стадией (с отрицательным ответом на стимулирующее инъецирование) в условиях установок замкнутого водоснабжения (U-критерий Манна-Уитни)**

variable	Mann-Whitney U Test (Spreadsheet77) By variable Groups Marked tests are significant at p <,05000 Rank Sum =. stage IV	Rank Sum =. stage VI (negative)	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N =. stage IV	Valid N =. stage VI (negative)	2*1sided exact p
Testosterone, nmol/l	367,0000	494,0000	194,0000	0,264628	0,791296	0,264651	0,791278	17	24	0,803705
Progesterone, nmol/l	450,0000	216,0000	6,0000	4,902702	0,000001	4,903333	0,000001	16	20	0,000000
FSH, IU/l	158,0000	32,0000	22,0000	-0,223607	0,823063	-0,223705	0,822987	16	3	0,875129
LH, IU/l	425,0000	136,0000	0,0000	4,898979	0,000001	4,899389	0,000001	17	16	0,000000
Estradiol, nmol/l			0,0000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000	0	25	0,000000
DHEAS μg/ml			0,0000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000	0	25	0,000000
CG, IU/l			0,0000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000	0	18	0,000000

ОГЛАВЛЕНИЕ

5. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ И ИХ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА 3
5.1. Диагностика физиологического состояния печени ремонтно-маточных стад осетровых рыб.....3
5.2. Концентрация андрогенов в сыворотке крови самок ремонтно-маточного стада осетровых рыб.....47
5.3. Диагностическая оценка физиологического состояния ремонтного стада стерляди (*Acipenser ruthenus*) в установках замкнутого водоснабжения Беларуси ...64
5.4. Ультразвуковая диагностика осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси.....71
5.5. Применение лазерного излучения низкой интенсивности в технологии воспроизводства осетровых рыб.....87
5.6. Оценка подвижности сперматозоидов осетровых рыб в условиях аквакультуры.....92
5.7. Влияние оптического излучения, магнитного поля и их сочетания на сперматозоиды осетровых рыб 100
5.8. Роль поляризации и когерентности оптического излучения низкой эффективности во влиянии на подвижность сперматозоидов осетровых рыб.....108
5.9. Влияние частоты модуляции оптического излучения на подвижность сперматозоидов осетровых рыб.....113
5.10. Влияние частоты повторения и длительности импульсов оптического излучения на сперматозоиды осетровых рыб.....118
5.11. Первый опыт повторного получения икры от *Acipenser gueldenstaedti* в Беларуси.....121
5.12. Идентификация пола осетровых рыб по костным пластинкам (жучкам).....123
6. ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ В АКВАКУЛЬТУРЕ БЕЛАРУСИ.....218
6.1. Текущее состояние, планы развития и сдерживающие факторы 218
6.2. Предпосылки для развития образцовых хозяйств датского типа.....220
6.3. Описание стандартной образцовой форелевой датской системы 223
6.4. Аналитическая записка по результатам посещения товарных форелевых канальных систем Беларуси 253
6.5. Примеры форелевых хозяйств Европы 258
6.6. Примеры установок замкнутого водоснабжения, перспективных для аквакультуры Беларуси.....280
6.7. Мониторинг биологической очистки в установке замкнутого водоснабжения 302
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 318
ПРИЛОЖЕНИЯ.....342

Научное издание

Барулин Николай Валерьевич

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Монография

В двух частях

Часть 2

Редакторы *Т. И. Скикевич, А. И. Малько*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 10.12.2018. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс. Усл. печ. л. 22,32. Уч.-изд. л. 18,02.
Тираж 100 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.