

ФГБОУ ВО  
«АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ЭЛНАКИБ МАХМУД АБДУЛЛА ЭЛШАХАТ АБДУЛЛА

**Сравнительная оценка показателей репродуктивной функции  
самок веслоноса (*Polyodon spathula* – Walbaum, 1792),  
неоднократно созревших в маточных стадах**

**Специальность 06.04.01 – Рыбное хозяйство и аквакультура**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук  
доцент  
Л. М. Васильева

Астрахань, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....</b>	<b>10</b>
1.1. История развития и современное состояние аквакультуры веслоноса ..	10
1.2. Современное состояние и перспективы аквакультуры Египта.....	15
1.3. Биологические особенности веслоноса .....	21
1.4. Особенности репродуктивной функции веслоноса .....	25
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>30</b>
2.1. Постановка эксперимента .....	31
2.2. Методы исследований.....	32
2.2.1. Определение физико-химических параметров воды.....	32
2.2.2. Морфометрические измерения и показатели роста рыб.....	33
2.2.3. Гематологические и биохимические параметры .....	33
2.2.4. Расчёты математической зависимости плодовитости самок веслоноса и выхода икры от морфометрических показателей.....	34
2.2.4.1. Расчёт выхода икры в пищевых целях от самок веслоноса.....	34
2.2.4.2. Расчёт плодовитости самок веслоноса, отдавших икру в рыбоводных целях .....	35
2.3. Статистический анализ .....	35
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ .....</b>	<b>38</b>
3.1. Температурный и гидрохимический режимы среды обитания.....	38
3.2. Изменение массы самок веслоноса за летний нагул и зимовку .....	43
3.3. Морфометрические показатели веслоноса.....	48
3.4. Рыбоводные показатели репродуктивной функции самок веслоноса....	53
3.4.1. Оценка репродуктивной функции самок веслоноса, отдавших икру в пищевых целях .....	53
3.4.2. Характеристика репродуктивной функции самок веслоноса, отдавших икру для рыбоводных целей.....	60

3.5. Гематологические показатели репродуктивной функции веслоноса.....	65
3.5.1. Гематологические показатели самок веслоноса при получении икры в пищевых целях .....	65
3.5.2. Гематологические показатели веслоноса при получении икры в рыбоводных целях .....	71
3.6. Математические расчёты зависимости количества полученной икры и плодовитости самок веслоноса от морфометрических показателей ...	79
3.6.1. Расчёт количества полученной икры в пищевых целях.....	79
3.6.2. Расчёт плодовитости самок веслоноса, отдавших икру в рыбоводных целях .....	82
3.6.2.1. Плодовитость самок веслоноса в зависимости от длины тела... 82	
3.6.2.2. Плодовитость самок веслоноса в зависимости масса тела .....	86
3.7. Характеристика состояния водных источников и качества воды в Арабской Республике Египет для развития аквакультуры веслоноса	89
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>95</b>
<b>НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....</b>	<b>98</b>
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....</b>	<b>99</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>100</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>101</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>114</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В условиях активного развития аквакультуры в мире необходимо совершенствовать биотехнологические процессы с освоением новых объектов, что позволит повышать результативность деятельности рыбоводных предприятий. Египетская стратегия в области аквакультуры согласуется с планами российских рыбоводов, направленная на достижение биологической безопасности и увеличение рыбоводной продукции новых видов рыб, производимых в коммерческих целях (Росрыболовство, 2017; GAFRD, 2010, 2018). К таким объектам можно отнести веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum) – одного из наиболее ценных представителей мировой ихтиофауны, обладающего высокой потенциальной способностью к росту и возможностью получения деликатесной продукции, в том числе и высокоценной, дорогостоящей черной икры. Выращивание веслоноса в условиях пастбищной аквакультуры будет способствовать более полному использованию биоэнергетических ресурсов многочисленных природных водоемов страны и, к тому же за короткие сроки (2–3 года) увеличить выпуск ценной рыбной продукции (Виноградов, 1993). Рыбоводное освоение веслоноса вне его природного ареала обитания в водоёмах Северной Америки широко распространилось из-за растущей популярности этого вида в качестве товарной пищевой рыбы и высокого качества икры (Мельченков и др., 1996). Предварительно проведённые разработки показали, что североамериканский веслонос может быть хорошо акклиматизирован в рыбохозяйственных водоёмах страны и в перспективе получить широкомасштабное освоение в российской аквакультуре.

Веслонос как ближайший «родственник» осетровых рыб, в отличие от большинства видов из других отрядов, достигает полового созревания в поздние сроки при достижении самок крупных размеров (Mims & Shelton, 2015; Zigler, 2009). За последние 40 лет проявилась ведущая роль российских ученых по изучению всех аспектов жизни и акклиматизационного поведения веслоноса,

что позволило разработать рыбоводно-технологические нормативы по выращиванию веслоноса в прудах и ведению племенной работы. В то же время вопросам изучения репродуктивной функции производителей веслоноса, созревших в искусственных условиях, до сих пор уделялось недостаточно внимания, нет достоверных опубликованных материалов по срокам созревания, межнерестовым циклам, плодовитости самок и др. В этой связи исследования репродуктивной функции самок веслоноса, созревших в искусственных условиях, и сравнительная оценка полученных данных с показателями рыб естественного происхождения весьма актуальны для дальнейшего развития аквакультуры этого ценного вида рыб. Выполнение работы по углубленному пониманию процессов гамето- и гонадогенеза самок веслоноса, адаптированных к российским условиям содержания, позволит в дальнейшем передать полученный опыт Египту для освоения новых рынков в Африке и на Ближнем Востоке.

**Степень разработанности темы.** С 1974 года по настоящее время успешные опыты по натурализации веслоноса в результате его получения на базе объектов системы культивирования были впервые реализованы на юге России. Основными исследованиями в данной области были проведены такими учёными, как В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина (1976), А. Д. Гершанович (1977), М. П. Никольская (1983), Л. В. Ерохина, В. К. Виноградов, Е. А. Мельченков (1984), В. В. Архангельский и др. (1995), М. В. Бреденко (1993), М. Г. Глеуж, Т. А. Яковчук (2000), Е. А. Мельченков (2001), Т. А. Шаповалова (2005) и др. Вопросами акклиматизации веслоноса в СССР и разработками биологического обоснования его использования в отечественной аквакультуре занимались сотрудники ВНИИПРХ под руководством В. К. Виноградова и Л. В. Ерохиной (Виноградов, 1985; Канидьева, 1991; Васильева и др., 2000; Кончиц и др., 2008). Несмотря на широкое распространение рыбоводных хозяйств, специализирующихся на разведении веслоноса в средних и южных широтах Российской Федерации, информативные данные об оценке репродуктивной функции самок веслоноса отсутствуют (Виноградов и др., 2005; Мельченков и

Канидьева, 2015). Недостаточно исследований проводилось по оценке биологической характеристики, экологического биоразнообразия, особенностей созревания и размножения веслоноса, взаимосвязи фенотипа и среды обитания, сезонных изменений роста и т. д. В настоящее время обозначилась еще одна выраженная тенденция: частные инвесторы сосредоточились на производстве икры веслоноса без научных изысканий, следовательно, сократились лабораторные исследования физиологических функций веслоноса, нереста и вылупления (Шаповалова, 2005). Целесообразно оценить качество источников воды в Египте с целью проверки их пригодности для разведения и нереста веслоноса.

**Цель работы** – исследовать показатели репродуктивной функции самок веслоноса, неоднократно созревших в прудах, для углублённого понимания их адаптации к российским условиям акакультуры.

**Задачи исследований:**

1. Проанализировать температурный и гидрохимический режимы в прудах юга России.
2. Изучить морфометрические показатели самок веслоноса в период летнего нагула в прудах и в условиях зимовки.
3. Оценить рыбоводно-биологические и гематологические показатели самок веслоноса, отдавших икру в пищевых и рыбоводных целях.
4. Разработать математические зависимости плодовитости и выхода икры самок веслоноса от морфометрических показателей.
5. Оценить возможности выращивания веслоноса в водоёмах Египет.

**Научная новизна.** Впервые получены результаты по срокам достижения половой зрелости, межнерестовым циклам и морфометрическим показателям самок веслоноса, неоднократно созревшим в искусственных условиях и отдавшим икру в пищевых и рыбоводных целях. Получены рыбоводные показатели, характеризующих репродуктивную функции самок веслоноса, достигших половой зрелости в прудовых условиях. Оценено физиологическое состояние самок веслоноса, от которых была получена икра по

гематологическим показателям. Выявлена математическая зависимость выхода икры и плодовитости самок веслоноса от морфометрических показателей: массы и длины рыб, а также от сроков созревания. Настоящая работа является первым в своем роде исследованием для оценки возможности культивирования веслоноса в условиях Республика Египет с целью получения товарной пищевой рыбы и ценной деликатесной чёрной икры и плодовитости.

**Теоретическая и практическая значимость.** Подтверждено, что рыбоводные показатели репродуктивной функции самок веслоноса, созревших в искусственных условиях, в основном соответствовали рыбам, обитавшим в водоёмах Северной Америки, кроме сроков достижения половой зрелости: некоторые особи в прудах юга России созревали на 8–10 лет позже. По результатам сравнительного анализа данных мониторинга последовательных сезонов нереста самок веслоноса установлено, что рыбы раннего созревания имели более высокие показатели репродуктивной функции, чем особи, достигшие половой зрелости в поздние сроки. Для прогноза репродуктивной функции самок веслоноса с целью получения качественной пищевой икры определяющими критериями являются показатели массы и возраста первого созревания рыб. Разработана математическая зависимость между массой и длиной рыбы для прогнозной оценки плодовитости самок веслоноса, от которых получают икру в рыбоводных целях. Наивысшие показатели абсолютной и относительной плодовитости самок веслоноса можно достичь со следующими параметрами: масса – более 14 кг, длина – около 144 см. По результатам сравнительной оценки качества среды обитания определены два северных озера Республика Египет, в которых физико-химические параметры воды позволяют культивировать веслоноса.

**Методология и методы исследований.** Для выполнения поставленных цели и задач работы была разработана программно-целевая модель исследований. Проводились гидрохимические, морфометрические, рыбоводно-биологические и гематологические исследования для оценки репродуктивной функции самок веслоноса, неоднократно созревших в искусственных условиях.

Методология работы основана на сравнительном анализе результатов исследований и непрерывном мониторинге для полной выборки по морфобиологическим, физиологическим и гидрохимическим показателям. В работе использовалось компьютерное моделирование по системе множественной регрессии к усовершенствованию высокопроизводительных вычислений для биологических и абиотических показателей, которые были обусловлены взаимодействием между внутренними и внешними факторами окружающей среды в водной экосистеме.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- температурный и гидрохимический режимы в прудах в рыбоводные сезоны 2019–2020 годов;
- изменения морфометрических показателей самок веслоноса в период летнего нагула и зимовки;
- состояние репродуктивной функции самок веслоноса, по рыбоводно-биологическим показателям;
- гематологические показатели самок веслоноса, отдавших икру в пищевых и рыбоводных целях;
- математическая зависимость выхода икры и плодовитости от морфометрических показателей самок веслоноса, отдавших икру в пищевых и рыбоводных целях;
- возможность культивирования веслоноса в водоёмах Республика Египет в соответствии с требованиями к качеству воды в них.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Для достижения поставленных цели и задач работы использовались стандартные методики проведения экспериментальных исследований, обработки и анализа полученных результатов, применяемых в рыбохозяйственной науке и практике. Методы исследований выполнялись в соответствии с сформулированными целью и задачами, полученные результаты проанализированы, обобщены и представлены в выводах. Научные положения и выводы подтверждаются обширными экспериментальными данными, которые были обработаны с



помощью современных статистических и математических программ для составления прогнозов.

Основные выводы и положения диссертации были представлены и обсуждены на Международной конференции «Состояние водных биологических ресурсов и аквакультуры Казахстана и сопредельных стран», посвященной 90-летию НПЦ РК (сентябрь 2019 г., г. Алмата, Казахстан); Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и научные достижения в агропромышленных технологиях и агробизнесе» (29 ноября 2019 г., АГУ, г. Астрахань); XIII Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса», посвященной 90-летию ДГТУ (РИСХМ) (26–28 февраля 2020 г., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону); IV Международной научной конференции, «Информационные технологии и технологии коммуникаций. Современные достижения», посвященной 90-летию со дня основания АГТУ (5–8 октября 2020 г., АГТУ, г. Астрахань); Международной научно-практической онлайн-конференции «Биоразнообразие, рациональное использование биологических ресурсов и биотехнологии» (8 декабря 2020 г., АГУ, г. Астрахань); XIV Международной конференции молодых ученых НАСБЕ, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета и 10-летию совместной деятельности РГГМУ и НАСБЕ (26–28 октября 2021 г., РГГМУ, г. Санкт-Петербург).

**Публикации.** По материалам выполненных исследований опубликовано 15 научных работ, из них в трёх журналах, зарегистрированных в ВАК РФ, 4 – в изданиях, включенных в международные базы данных WOS и SCOPUS, а также одна программа для ЭВМ, прошедшая государственную регистрацию.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа изложена на 115 страницах, включает 18 рисунка и 23 таблиц, состоит из введения, обзора литературы, материала и методов исследования, результатов собственных исследований, заключения, списка литературы, включающего 154 источника, в том числе 44 – на иностранных языках.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1. История развития и современное состояние аквакультуры веслоноса

Исторически популяция веслоноса была распространена в речных системах на большей части центральной части США (Васильева и др., 2020а; Элнакиб и др., 2022). Веслонос хорошо адаптируется в умеренном климате, его естественный ареал обитания включал 26 штатов в бассейнах рек Миссисипи и Мобил-Бэй, а также других водозаборных бассейнов Мексиканского залива на западе до притоков Галвестон-Бей, штат Техас. Как правило, веслонос населяет крупные реки, но также встречается в естественных озерах. Популяция этого вида хорошо адаптируется в больших водохранилищах, особенно если в притоках присутствуют условия, способствующие воспроизводству (Козлов, 1998).

Американский веслонос и осетровые в своем родном ареале разошлись филогенетически около 150 млн лет назад (Elwakeeb et al., 2021a), около 12 млн лет назад, в эпоху плиоцена, географические барьеры изолировали часть побережья Мексиканского залива от реки Миссисипи. В результате биогеографического распределения сформировались два различных состава популяций – северные и южные стада веслоноса, – представители каждого из которых имеют собственные биологические характеристики, отличающиеся по генетическому содержанию. Позднее, после нарушения естественного барьера между реками Мобил-Бэй и Теннесси в результате гидростроительства на водотоке Теннесси-Томбигби, благодаря искусственно созданным условиям изолированные ранее сообщества смогли снова смешаться (Mims, Shelton, 2015).

Ряд антропогенных факторов, вызвавших изменение среды обитания в реках, повлияли на распространение и численность веслоноса, а также снизили способность популяций к восстановлению, особенно на периферии ареалов. Так, в последние десятилетия численность веслоноса в Северной Америке

значительно изменилась из-за его интенсивной добычи на протяжении всего XX века. Строительство и эксплуатация плотин также изменили скорость потока и качество воды и часто были причиной уничтожения традиционных нерестилищ либо препятствовали доступу к местам размножения (Elnakeeb et al., 2021b). Перечисленные факторы привели к полному искоренению ареалов распространения веслоноса популяций в четырех северо-восточных штатах – Мэриленде, Нью-Йорке, Северной Каролине и Пенсильвании. В сочетании с воздействием загрязнителей окружающей среды некоторые популяции данного вида на периферии ареала не восстановились, однако в последнее время несколько штатов Америки увеличили или стабилизировали объёмы зарыбления водоёмов молодью веслоноса (Bettoli et al., 2009).

В настоящее время предприняты серьезные попытки восстановления численности веслоноса в ряде территорий и достижения прежних уровней его присутствия за счет дополнительного зарыбления, реинтродукция продолжается и сегодня. Для успешной работы по восстановлению природных запасов веслоноса необходимы знания и понимания возможностей и перспектив аквакультуры этого вида, исходя из глубокого анализа биологических особенностей гидробионта. Только при этом условии возможна разработка эффективных методов искусственного воспроизводства и товарного выращивания веслоноса, которые позволят восстанавливать природные запасы и производить товарную продукцию высокого качества.

В начале 1960-х годов значительный вклад в деятельность по выращиванию и разведению веслоносов внес Департамент охраны природы штата Миссури. Толчком к культивированию веслоноса послужили неблагоприятные экологические условия в водохранилищах, которые возникали быстрыми темпами (Elnakeeb et al., 2021a). В 1970-х годах, в рамках деятельности Управления Долины Теннесси (УДТ), были продолжены исследования веслоноса: в первую очередь изучалось влияние водозаборов электростанций в системе водохранилища УДТ на молодь рыб. В Обернском Университете (штат Алабама) изучались условия выращивания рыб в пищевых

целях – «для производства мяса». В середине 1980-х годов ученые Исследовательского центра аквакультуры Университета штата Кентукки во Франкфурте инициировали программу по разведению веслоноса в аквакультуре, эта программа действует и по сей день. В 2008 году девять государственных и федеральных инкубаториев в США занимались размножением и выращиванием веслоносов (Mims, Shelton, 2015). Основная цель государственных предприятий была направлена на решение природоохранных, восстановительных и спортивных рыболовных задач для различных штатов страны.

Постепенно выращивание веслоноса вне его родного ареала обитания широко распространилось во многих регионах страны из-за увеличивающегося спроса на товарную рыбу, чье мясо и икра обладают высокой пищевой ценностью (Мельченков, 1991, 1992). Коммерческое разведение веслоноса было выгодно в первую очередь тем, что, в отличие от промыслового рыболовства, оно не подвержено сезонным колебаниям и позволяет обеспечивать запросы потребителей практически круглый год.

В 1974 году из США (штат Миссури) в Европу впервые были ввезены вылупившиеся личинки *Polyodon spathula* в рамках совместного научного соглашения между Службой рыбного хозяйства и дикой природы США и Всесоюзным научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства СССР. Конвенцией оговаривалось, что поставка будет осуществляться тремя партиями – в 1974, 1976, 1977 годах – в три места страны: в Краснодарский край (опытный завод «Горячий Ключ»), в Донецкую область Украины (Донрыбокомбинат) и Астраханскую область (Икрянинский экспериментальный осетровый рыбозаводный завод). Таким образом, в Россию было экспортировано 330 000 молоди веслоноса. Были достигнуты успешные показатели выращивания веслоноса в результате экспериментов российских исследователей в период 1974–1978 годов в Краснодарском крае (Мельченков, 1988). Целью исследований советских ученых было изучение веслоноса как рыбы с необычным способом питания путем фильтрации зоопланктона и

быстрыми темпами роста, а также для получения сопоставимого мяса и икры (Мельченков, Канидьева, 2015). Полученные результаты позволили учёным отдела акклиматизации ВНИИПРХ под руководством В. К. Виноградова и Л. В. Ерохиной разработать биологическое обоснование адаптации веслоноса в СССР (Тлеуж, Яковчук, 2000; Васильева и др., 2020b). За период исследований полученные личинки веслоноса активно росли и достигли половой зрелости, от них было получено потомство, и российские учёные и рыбоводы успешно распространяли накопленный опыт по странам Евразии (Архангельский и др., 1997; Виноградов и др., 2005; Мельченков и др., 1991).

Первый эксперимент был начат в 1974 году с завозом пяти тысяч 3–4-дневных личинок веслоноса и стал частично успешным, а в конце второго года исследований, в 1975 году, лишь несколько выживших особей достигли половой зрелости. Были проведены исследования и по поставкам личинок веслоноса в 1976 году, прошедшим, по-видимому, безуспешно (письменный отчет отсутствует). Поставка, проведенная в 1977 году, успешно завершилась выращиванием полученного потомства на двух опытных рыбоводных хозяйствах (Горячий Ключ и Икряное, Астраханская обл.). Третья попытка выращивания веслоноса была предпринята в 1977 году, когда десяти-двенадцати суточных личинок веслоноса массой 40–60 мг завезли на экспериментальный ОРЗ. В с. Икряное, Астраханская область и затем выращивали два месяца в круглых бетонных бассейнах. (Гершанович, 1980, 1983; Гершанович, Николаев, 1984). Молодь, достигшая средней массы 50 г и длины 25,5 см) переводилась в пруды, где содержалась совместно с сеголетками бестера (Архангельский, 1997). При спуске прудов через 2,5 месяца молодь веслоноса достигла средней массы 600 г, а максимальная составляла 900г, при этом средняя длина была 58 и максимальная 61 см. На всех этапах выращивания молоди веслоноса в прудах выживаемость была в пределах 50–60 %.

С 1978 года интерес к выращиванию веслоноса стал проявляться в ряде республик Советского Союза (Виноградов и др., 1984; Гершанович, 1978).

Аквакультура веслоноса успешно развивалась на юге страны до 1991 года. После распада Советского Союза, начиная с конца 1990-х и по 2014 год, развитие аквакультуры веслоноса и исследовательские усилия пошли на спад из-за отсутствия финансовой поддержки и нормативных актов для ее осуществления (Васильева и др., 2020b; Дворянинова и др., 2016; Дворянинова, Соколов, Черкесов, 2016). В последующие годы наблюдался постоянный рост, вызванный необходимостью удовлетворения запросов местных рынков (Барулин, 2017; Павлова, 2009). Высокий спрос на рыбную продукцию диктовал необходимость развития направления аквакультуры, особенно ценных видов рыб – осетровых и, в частности, веслоноса (Гимбатов, 2014).

В соответствии с Федеральной программой № 314 от 15 мая 2014 года определена задача по обеспечению аквакультурной продукцией потребительского рынка за счёт роста фермерских хозяйств. К большому сожалению, достоверной информации об объёмах производства товарной продукции веслоноса и фермерских хозяйств, занимающихся выращиванием этого вида рыб, крайне недостаточно. Кроме того, отсутствуют исчерпывающие сведения о масштабах сформированных маточных стад веслоноса в контролируемых условиях, потенциале их роста и связанных рисках (Мальцев, Обожина, 2013). По состоянию на сегодняшний день Число в России зарегистрировано 20 рыбоводных хозяйств, занимающихся выращиванием веслоноса, все они являются частными компаниями и не обнародуют подробную информацию о своей деятельности и данные об объёмах производства веслоноса (Шихшабекова и др., 2020). Некоторые данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

## Крупные предприятия по выращиванию веслоноса в России (2020 год)

Наименование объекта	Типы организаций*	Расположение	Метод выращивания
ФГБУ «Медведицкий экспериментальный рыборазводный завод»	ЭЦ	Волгоградская обл.	Моно- и поликультурные пруды
Нижеволжский филиал ФГБУ «Главрыбвод»	ЭЦ	Волгоградская обл.	Моно- и поликультурные пруды
ФГБНУ «ТИНРО-Центр» (Лучегорская научно-исследовательская станция)	ЭЦ и С	г. Владивосток	Монокультурные пруды
«Новочеркасский рыбокомбинат»	СЦ и ЭЦ	Ростовская обл.	Моно- и поликультурные пруды и садки
ООО «Южноуральская форель»	СЦ	Челябинская обл.	Моно- и поликультурные пруды и садки
ООО «Заря-2»	ЭЦ	г. Воронеж	Монокультурные пруды
ООО «Широкопольский рыбокомбинат»	СЦ, К и ЭЦ	Респ. Дагестан, г. Махачкала	Моно- и поликультурные пруды и садки
ООО РСП «Ангелинское»	СЦ и ЭЦ	Краснодарский край	Монокультурные пруды
ОАО «Волгореченское рыбное хозяйство»	СЦ	Костромская обл.	Монокультурные пруды
ООО «Икрянинский зональный рыбобитомник “Дельта”»	ПЗ	Астраханская обл.	Моно- и поликультурные пруды и садки

*Примечание: \*типы организаций по разведению веслоноса: К – колхозное хозяйство; С – совхозное; СЦ – селекционный завод; ЭЦ – экспериментальный центр; ПЗ – племенной завод.*

Таким образом, российская аквакультура веслоноса за полувековой период проделала большой путь, получила развитие на нескольких рыбоводных предприятиях страны, но до сих пор продукцию из товарного веслоноса почти невозможно встретить на рынках страны. Очевидно, что, наряду с технологическими разработками, необходимо особое внимание уделять маркетинговой деятельности, т. к. веслонос – малоизвестный рыбный объект для российского потребителя.

## 1.2. Современное состояние и перспективы аквакультуры Египта

Египетская аквакультура является крупнейшей и наиболее развитой как на африканском континенте, так и среди арабских стран (Элнакиб и др., 2018). Развитие современной аквакультуры Египта началось два десятилетия назад. В 2016 году египетский сектор аквакультуры производил больше продукции, чем

вся мировая рыбоводная продукция: выращивалось 1,56 млн тонн в год, или 80,33 % от общего объема рыбы. В период с 2008 по 2017 год египетская аквакультура продемонстрировала быстрый рост – с 1,07 до 1,82 млн тонн, что составляло около 2,28 % от общемирового объема отрасли.

В настоящее время рыбоводное хозяйство в Египте рассматривается в качестве основного источника поставок рыбной продукции на потребительский рынок, на долю которого в 2017 году приходилось почти 79,65 % от общего объема производства рыбы в стране (1,82 млн тонн). Следовательно, сектор аквакультуры в течение последних нескольких лет стал участником значительного и быстрого развития отрасли благодаря ускоренному увеличению числа рыбоводных хозяйств и применению новых технологий, таких как использование экструдированных кормов, систем рециркуляции воды, а также усовершенствованной практики управления фермерскими хозяйствами. Так, в течение 2016–2017 годов Египет занимал шестое место в мире по производству рыбы, на его долю приходилось, соответственно, 1,63 и 1,75 % мировых объемов продукции аквакультуры.

В середине 1980-х годов аквакультура Египта была ограничена регионами восточной и северной дельты. Производство аквакультуры основывалась на полужестенсивных или полунтенсивных методах прудового выращивания с использованием пресной и слабосоленой воды. По традиции частные предприятия, специализирующиеся на аквакультуре, работали на обширных мелких водоемах площадью до 25 гектаров. Рыбопродуктивность в прудах была невысокой (250–400 кг/га) и основывалась на формировании естественной кормовой базы путём внесения органических удобрений (навоз) и дополнительного кормления, обычно рисовыми отрубями.

Полунтенсивная аквакультура чаще внедрялась на фермах, находящихся в ведении правительства, где поликультура применялась в небольших водоемах площадью от 2 до 6 гектаров с использованием удобрений и дополнительного кормления. Среднегодовое производство этих полунтенсивных систем варьировало в диапазоне 1,5–2,5 тонн с гектара. Интенсивная аквакультура в



бетонных резервуарах в течение последних двух десятков лет является еще одним быстро развивающимся сектором, в частности, за счет расширения рыбосевооборота в западном регионе.

В 1990-х годах интенсивная прудовая аквакультура была введена с целью замены полуинтенсивных и традиционных хозяйств. В результате высокой отдачи от инвестиций и рационального использования воды произошло интенсивное развитие сельскохозяйственного производства. В этих системах использовались неглубокие пруды, которые зарыблялись молодью веслоноса при высокой плотности посадки и обильном кормлении, а также хорошей аэрацией. Среднегодовая добыча составила 17,5–30,0 тонн с гектара, главным образом, тилапии (GAFRD, 2010). Практика разведения рыбы в клетках особенно распространилась в самых северных ветвях дельты Нила. В настоящее время в эксплуатации находится более 22 045 рыбоводных хозяйств общим объемом 13,2 млн кубических метров. Общий объем производства рыбы в 2017 году составил 169 269 тонн.

В настоящее время наибольшее распространение в стране получил полуинтенсивный метод выращивания рыбы в земляных прудах, на который приходится до 80 % общего объема производства. Рыбоводные хозяйства в основном сосредоточены в районе дельты Нила и в северных озерах Маруит, Эдко, Бурулус и Манзала (Soliman, Yasout, 2016). Их распределение представлено на рисунке 1.

Такое распределение рыбоводных хозяйств определялось строительством Асуанской плотины в 1970 году, которая повлияла на сток воды в реке Нил и, как следствие, сокращение площади северных озер с образованием вокруг них обширной территории неиспользуемых земель. Эти участки находились близко к озерам и/или в конце ирригационных и дренажных каналов, впадающих в водоёмы с высоким содержанием фито- и зоопланктона, а значит, эти территории идеально подходят для использования в аквакультуре.

Следует отметить, что в 2017 году 55 % выращиваемой в Египте товарной рыбы производилось в мухафазе Кафр-эш-Шейх, в основном на небольших и

средних частных рыбоводных фермах. Одновременно с ростом производства стали быстро развиваться интенсивные методы выращивания в бассейнах различного типа. Одним из недостатков в развитии аквакультуры в стране является дефицит водных ресурсов в Египте.



Рисунок 1. Рыбоводные хозяйства в дельте Нила, в северной части страны и по берегам реки

Несмотря на то, что около 5,9 млн гектаров территории страны покрыты водой, этого оказалось недостаточно для удовлетворения потребностей аквакультуры. Ежегодный дефицит воды в Египте, по данным ООН, составляет около 7 млрд кубометров, а к 2025 году в стране могут закончиться водные ресурсы. В своем отчете за 2018 год ООН предупреждает, что Египет в настоящее время находится ниже установленного ООН порога водной бедности и уже сталкивается с дефицитом воды (1000 м<sup>3</sup> на душу населения), стремительно приближаясь к абсолютному дефициту воды (500 м<sup>3</sup> на душу

населения). Тенденция усугубляется ещё и тем, что возрастают угрозы дефицита воды на фоне отсутствия влияния Египта на строительство эфиопской плотины Возрождения. Вследствие этих факторов общий объем производства рыбной продукции сократился в 2017 году по сравнению с ожидаемым, что побудило государственные регулирующие органы утвердить план развития, который будет реализовываться до 2030 года (GAFRD, 2010, 2018). Из-за ограниченности пресноводных ресурсов достичь положительной динамики в аквакультуре страны возможно только в случае повышения эффективности использования воды. Следовательно, необходимо более эффективное использование имеющихся природных водных ресурсов в целях увеличения объемов продукции рыбоводства. В 2017 году Египет импортировал около 367 тыс. тонн рыбы, или 20 % от общего объема ее производства в стране. Нынешняя стратегия GAFRD заключается в увеличении общего производства рыбы на 34,6 %, то есть до 3 млн тонн, к уровню 2030 года (GAFRD, 2017).

#### *Характеристика объектов аквакультуры, используемых в Египте*

Три десятилетия назад тилапия, кефаль и представители семейства карповых были основными видами, используемыми в египетской аквакультуре в условиях прудового выращивания, но в последние годы коммерческие хозяйства отдают предпочтение марикультуре. Основными видами рыб, выращиваемыми в Египте, являются: тилапия (*Oreochromis niloticus*), кефаль-лобан (*Mugil cephalus*), белый амур (*Ctenopharyngodon idella*), толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), африканский сом (*Clarias gariepinus*), большой багр (*Bagrus bajad*), золотистый спар (*Sparus aurata*), обыкновенный лаврак (*Dicentrarchus labrax*), обыкновенный серебристый горбыль (*Argyrosomus regius*) и европейская солея (*Solea solea*), а также четыре вида ракообразных – креветка макробрахиум розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*), зеленая тигровая креветка (*Penaeus semisulcatus*),

японская тигровая креветка (*Penaeus japonicas*) и индийская креветка (*Penaeus indicus*).

Только нильская тилапия составляет более 66,63 % в продовольственном сегменте, за ней следуют кефаль (14,48 %), карп (обыкновенный, толстолобик, сазан) – 12 %, морской лещ (2,43 %), морской окунь (2,12 %), горбыль серебристый (1,72 %), сом (0,57 %) и некоторые другие виды рыб, что в целом составляет 0,06 % от общего объема производства (GAFRD, 2017).

Правительство Египта придерживается мнения, что пресноводная и морская аквакультуры играют важную роль в создании рабочих мест, повышении доходов, избавлении людей от нищеты, а также в пропаганде здорового питания. Всячески поддерживая национальную аквакультуру, правительство страны намерено в ближайшие годы обнародовать ряд крупных проектов в области культивирования рыб в стране. Эксперты ожидают, что отечественным и иностранным инвесторам будут представлены правительственные проекты развития. Ожидается, что планы развития аквакультуры в Египте (Концепция 2030 г.) будут полностью взаимосвязаны с достигнутыми результатами за 2013–2019 годы и будут включать в себя масштабные национальные проекты по созданию инфраструктуры с использованием ресурсов гигантского Галионского озера и отстойников Суэцкого канала с целью интродукции новых видов рыб. В первую очередь, тех, которые могут адаптироваться к египетской водной системе и выращивание которых поможет снизить уровень безработицы и открыть новые рынки сбыта (Элнакиб и др., 2018). Рассматривается возможность использования ресурса подземных вод для бассейнового метода выращивания с применением установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), что в будущем может стать основным элементом в организации производства аквакультуры, учитывая политику государства в отношении дефицита воды. Египетское правительство планирует использование приемов по интродукции инородных видов рыб в различные среды обитания страны, и одним из таких успешных экспериментов является советский опыт в области аквакультуры веслоноса.

С отмечающимся развитием инфраструктуры для строительства рыбоводных хозяйств очевидна перспектива географического расширения территорий, на которых может быть создана удовлетворительная среда для выращивания веслоноса. Инвестиционная деятельность и усилия правительства сосредоточены на территориях, расположенных в обоих благоприятных районах – северная дельта и восточное побережье Египта. Оба участка отвечают требованиям по выращиванию веслоноса по гидрохимическим и гидрологическим индексам, включая соленость, температуру и содержание растворенного кислорода (Othman et al., 2021). К тому же в северной части дельты (озеро Галиун) отмечается высокое содержание планктонных организмов – излюбленной пищи веслоноса.

Спрос египетского потребителя ориентирован на определенные виды рыб в зависимости от культуры потребления в различных географических местностях. Запросы потребительских рынков могут как соответствовать ранее указанным объектам аквакультуры, так и отличаться от них. В то же время стоит отметить, что население дельты Нила в Египте более привычно к употреблению рыбы повышенной жирности, что благоприятно скажется на потребительском спросе на жирного веслоноса.

### 1.3. Биологические особенности веслоноса

Bemis et al. (1997) дают подробные обзоры таксономических отношений между веслоносами и, в частности, аципенсериформы в целом.

Веслонос (*Polyodon spathula* – Walbaum, 1792) относится к осетрообразным, отряду лучепёрых рыб из подкласса хрящевых ганоидов, который включает в себя осетровых и веслоносовых, а также некоторые вымершие семейства. Его появление датируется началом мелового периода, примерно за 135 млн лет до нашей эры (Bettoli et al., 2009). Walbaum (1792) впервые описал американского веслоноса как *Squalus spathula*, к 1798 году Lacépède поместил этот вид в род *Polyodon*.

Веслонос упоминался под различными названиями, которые впоследствии были официально приведены к единой форме. В употреблении были такие наименования, как «ложконосый сом», «кот-утконос», «зубатка», «ложка» и т. д. (Mims и др., 2000), в то же время предпочтительным общепринятым названием было «веслонос», возникшее в результате переноса определения на внешнюю особенность животного из-за «носа», похожего на весло. Веслонос – близкий родственник осетровых (семейство *Acipenseridae*) (Дворянинова, Соколов, Черкесов, 2016). Рыба отличается большим неподвижным ртом и вытянутым, уплощенным, веслообразным рострумом, напоминающим весло (отсюда и название веслоноса, рис. 2), который может составлять до половины длины тела.



Рисунок 2. Американский веслонос (*Polyodon spathula*)

Скелет состоит в основном из хрящей, кожа с несколькими редуцированными ромбовидными чешуйками на неравнопластном (гетероцеркальном) хвостовом плавнике. Самцов можно отличить от самок по приподнятому уrogenитальному сосочку (Scarnecchia et al., 2007). Поверхность тела веслоноса имеет тёмно-серую окраску, а боковая брюшная части – светлую, редко можно встретить рыб, окрашенных в тёмный цвет. Тело лишено чешуи. Средний размер составляет от 0,5 до 1,2 м в длину, а средний вес – от 0,9 до 9 кг. Крупная рыба может иметь общую длину до 2 м и весить более 50 кг (Дворянинова и др., 2016; Михеев, 1972). Взрослые особи веслоноса способны достигать возраста более 30 лет, хотя в реке Миссисипи чаще встречается рыбы в возрасте 18–22 лет (Hupfeld et al., 2016).

Менее очевидными морфологическими характеристиками веслоноса, но заслуживающими внимания, являются спаренные грудные и тазовые плавники рыбы, которые, в отличие от плавников большинства телеостов, функционируют во время движения вперед, как гидродинамические механизмы, обеспечивая маневренность. Спинной и анальный плавники также имеют довольно жесткую структурную основу. Хвостовой плавник сохраняет примитивную гетероцеркальную морфологию, в отличие от более гибкого гомоцеркального хвостового плавника более высоко эволюционировавших рыб-телеостов (Козлов, 1998).

Рыбы-веслоносы не имеют ротовых и оперкулярных клапанов, тем самым, не обладая возможностью для эффективного движения воды буккальным насосом, чтобы предотвратить обратный поток воды. За каждым глазом находится функциональный дыхательный пузырь. Одиночная пара мелких усиков расположена прямо перед ртом рыла (Слободяник и др., 2014).

Веслонос очень подвижен и активно перемещается в естественных условиях. Как и другие речные рыбы, взрослые веслоносы – участники весенней миграции. При этом расстояния миграции могут сильно варьировать: взрослые способны преодолевать сотни километров, чтобы достичь нерестилищ или кормовой базы (Колпаносова, Карнишина, Слободяник, 2011). Выбор среды обитания и биораспределение зависят от стадии жизненного цикла и пригодности среды обитания. Перемещение взрослого веслоноса в стационарных условиях с относительно неподвижной водой указывает на предпочтение глубин в дневное время и более мелких зон – ночью (Козлов, 1998). Преимущественной средой обитания веслоноса в крупных реках были признаны заводи, особенно для молоди в летние месяцы, когда обильной пищей является зоопланктон (Беляева, 1988; Беляева и др., 1997; Кончиц и др., 2009). Взрослые особи в это время часто находятся в медленных водах, прилегающих к границам основного канала, и в вихрях, созданных вблизи искусственных сооружений. Движение рыбы наиболее активно в период нереста и включает миграцию вверх по течению во время паводка.

Миграционная особенность обусловлена уникальными характеристиками веслоноса. Электрорецепторы помогают определить траекторию миграции и выбор вида зоопланктона (Никольская, 1983; Elnakeeb et al., 2020). Наибольшее движение производителей веслоноса наблюдается в преднерестовый и нерестовый периоды как в природных, так и в искусственных условиях.

Питается веслонос своеобразно, как бы собирая планктон «сетью», путём пассивной фильтрации воды, пропуская её через многочисленные длинные жаберные тычинки. Мельченков Е.А. (1991). в процессе изучения подтвердил, что веслонос обладает фильтрационным жаберным аппаратом.

Основной пищей веслоноса является зоопланктон, т.к. в пищевом комке сеголетков его содержание составляет 76 % от общего объема (Elnakeeb, Vasilyeva, Maltseva, 2020; Бедняков, 2014). Из общего объёма потребляемого корма молодью веслоноса, отловленных из природной среды обитания, на долю организмов *Daphnia pulex*, *D. forbest*, *Diaptomus siciloides* приходится свыше 75%. Но по мере роста молодёжь веслоноса начинает употреблять водных насекомых: кладоцер, веслоногих ракообразных водорослей, фрагментов водных растений и пиявок (Виноградов и др., 1986, 2003; Виноградов, Канидьева, 1991; Элнакиб, Васильева, 2021). У американских особей веслоноса пищевой комок на 45–95 % состоит подёнок неяды, а в Южной Дакоте большую часть пищевого комка занимали *Daphnia* и *Daptomus* (Carlander, 1969). В верховьях бассейна р. Миссури веслоносы в основном питались личинками хирономид, в то время как особи, выловленные в низовьях, предпочитали крупных особей *Leptodora kindtii* (Кончиц и др., 2009; Мельченков, 2001).

Carlander (1969) в своих публикациях показал, что веслонос – быстрорастущая рыба, нередко достигает массы 80 кг., при чём наибольший рост молоди наблюдается на первом году жизни. Для установки качественных показателей роста была разработана методика по срезам отолитов в челюстной кости, шкала размеров длины веслоноса представлена следующими значениями: 1 год – 25 см; 2 год – 60 см; 3 год – 75 см; 4 год – 85 см; 7 год – 100 см; 12 год – 115 см; 14 год – 127 см., а в 20 лет рыбы могут достигать свыше



двух метров. Однажды был выловлен веслонос длиной 216 см и массой 74 кг. Выполненные исследования показали отсутствие закономерности роста веслоноса, т.к. особи, отловленные в различных средах обитания и в разное время, не имели сопоставимых результатов, но при этом было установлено, что темпы роста рыб увеличивались по мере продвижения с севера на юг. Как показал Mims, Shelton, (2015) семолетний веслонос достигал различных размеров: Канзас – 140 см, Оклахома – 133 см, Миссури – 121 см, Айова – 113 см, Монтана – 111 см, Ю. Дакота – 97 см.

#### **1.4. Особенности репродуктивной функции веслоноса**

Углубленно и всесторонне биологические особенности веслоноса были изучены при проведении мероприятий по сохранению и восстановлению его природных запасов (США), а впоследствии – и при широкомасштабных разработках по выращиванию его в искусственных условиях, как в США, так и в России. Веслонос, подобно осетровым рыбам, достигает половой зрелости в более позднем возрасте и крупных размерах, чем большинство рыб (Mims, Shelton, 2015; Козлов, 1998). Как правило, в любой популяции самцы созревают в более раннем возрасте и при меньших размерах, чем самки.

Биостатистические данные в отношении популяций веслоноса в его родном ареале с точки зрения роста, возраста, половой зрелости, плодовитости и частоты нереста значительно различаются из-за широкого распространения особей вдоль территорий от северного до южного ареала (Lein, Devries, 1998). Популяции, живущие в северных его частях, крупнее и созревают позже южных особей. Половая зрелость у самок наступает в 7–14 лет (около 6 лет – в речных условиях) при массе 10–15 кг и общей длине 107–140 см. Самцы созревают несколько раньше, в 6–7 лет (около 5 лет – в реке), и при меньших размерах – 5–9 кг (Lein, Devries, 1998). С другой стороны, рыба в северных широтах может жить более 25 лет (Scarnecchia et al., 2007; Элнакиб, Васильева, Судакова, 2021). По данным обширной выборки среди популяций в дренажной

системе Мобил-Бей, в Алабаме (юго-восточный штат США), средний размер самцов колебался от 5 до 9 кг, самок – от 9 до 10 кг. Таким образом, южные особи созревают на год-два раньше, чем веслонос, обитающий на севере в Алабамской части реки Теннесси.

Биологические показатели популяции веслоноса могут меняться под влиянием неместного потомства, а также в силу колебаний качества воды (главным образом, температуры) различных географических территорий. Из-за миграции и широкого спектра биогеографического распространения веслоноса путем проникновения в новые среды фиксировалось колебание полового соотношения рыб в открытых и закрытых популяциях. Во многих исследованиях прошлого столетия отмечалось, что данное соотношение для веслоноса в 1973 году составляло 55,7 % самцов и 44,3 % самок, в 1974 году – 51,2 и 48,8 % соответственно (Алиева и др., 2016а; Алиева и др., 2016б). Однако в последнее время 78 % составляли самки, а 19 % – самцы, что аналогично теоретически ожидаемому соотношению полов (Mims, Shelton, 2015). Следует отметить, что при разведении рыбы в искусственных условиях предпочтительным является отбор производителей обоих полов из природных источников. В речных популяциях самцы, как правило, меньше самок. Самки созревают при размерах более 9–15 кг (107–140 см), а самцы – более 7–9 кг (Козлов, 1998; Мельченков, 1985).

Самцы могут спариваться каждый год, в то время как самкам может потребоваться от двух до пяти лет для развития зрелой яйцеклетки (Онученко, 2003). Недавние исследования показали, что самка веслоноса в системе реки Алабамы может нереститься и в последующие годы (Lein, Devries, 1998). Кроме того, Zigler (2009) считают, что самки веслоноса в популяциях реки Миссисипи также могут нереститься ежегодно. Период дифференциации гонад для веслоноса составляет примерно от 12 до 14 месяцев при весе от 175 до 260 г. Приблизительный аналогичный промежуточный период, указанный для русского осетра и белого осетра, – 7 и 12 месяцев при весе 100–195 г и 18–24 месяца и 1,5–2,0 кг соответственно (Ахундов, 1991; Виноградов и др., 2003).

Прямые наблюдения за нерестом веслоноса не проводились до начала 1960-х годов. Purkett (1961) обнаружил ключевые данные о естественной репродуктивной биологии веслоносов, ему впервые удалось собрать икру веслоноса, оплодотворить ее и вывести мальков, также им были инициированы исследования по искусственному размножению этих рыб. Needham (1965) использовал гипофиз для индуцирования овуляции (Dillard et al., 1986; Виноградов, Канидьева, 1991), продолжил разработку стандартных методов нереста, а также разработал методы прудового выращивания мальков и сеголетков (Власов, Лесин, 1996; Гершанович, 1978; Канидьева, 1991; Виноградов, Канидьева, 1991; Мельченков, 1985; Панов, Бай, 1991). Веслонос нерестится над гравийным субстратом в основном течении со скоростью около 1 м/с, когда температура воды достигает 13–16 °С, что обычно происходит в середине апреля вблизи центра его географической среды обитания. Как и в случае с другими сезонно нерестящимися рыбами, гаметогенез и нерест рыб веслоноса регулируется фотопериодом и температурой воды (Мельченков, 2001). Нерестовая активность стимулируется повышением температуры и увеличением потока воды. Во время весеннего половодья веслоносы начинают движение вверх по течению после того, как температура воды прогреется до 10–11 °С и скорость потока воды увеличится до 275 м<sup>3</sup>/с. Миграция может быть сокращена, если в пределах соответствующего температурного диапазона скорость потока недостаточно интенсивна, а также может прекратиться при резком снижении температуры воды (Бреденко и др., 1993; Бреденко, 1999а, б, с). Размер ооцитов весной перед периодом нереста увеличивается примерно с 2,3 до 2,8 мм, при этом яйцеклетки характеризуются сильной пигментацией – меланофорами. У веслоноса отмечена сравнительно высокая плодовитость: масса яичника у зрелых самок может достигать 15–20 % от массы тела, а плодовитость находится в диапазоне 9 000–26 000 икринок/кг веса со средним значением около 12 000–16 000 икринок/кг (Бреденко, Чертихин, 1995; Элнакиб и др., 2021; Бреденко, 1993). У самок, обитающих в озерах, среднее количество полученной икры было выше и составляло от 4,5 до 5,4 кг), чем у веслоноса,

обитавших в реках почти в 4 раза меньше (1,3–1,8 кг), что свидетельствует о влиянии условий нагула в период созревания рыб.

Выделяются также некоторые особенности анатомического строения и функционирования внутренних органов веслоноса. Репродуктивные органы имеют необычный тип для рыб (Mims, Shelton, 2015). Шестипарные яичники описываются как варикозно расширяющиеся (*gynno varian*), где при овуляции зрелые яйцеклетки выходят через стенку яичника и попадают в полость тела, вместо того чтобы собираться в центральной полости яичника.

Из целомической полости яйцеклетки должны войти в дорсально прикрепленные яйцеводы, которые примыкают к яичникам. Во время нереста икринки должны попасть в одну из дорсально расположенных открытых воронок парных яйцеводов (Мюллеровых протоков). Яичники простираются вдоль дорсальной полости тела с обеих сторон. На стадиях до созревания гонады окружаются жировой тканью. Семенники также располагаются отдельно вдоль спинной части тела, за исключением хвостовой части. Вентрально семенники встроены в толстый слой жира, так как веслонос относится к высоко липидным рыбам (Алиева и др., 2016b; Шихшабекова и др., 2020). Зрелые яйцеклетки интенсивно пигментированы. По внешнему виду, консистенции и вкусу икра веслоноса эквивалентна икре осетровых рыб. Яйца веслоноса имеют в среднем около 8 микропиле, вариации – от 3 до 20 микропиле.

После нереста, когда яйцо вступает в контакт с водой, целомическая жидкость, соприкасающаяся с поверхностью мембраны яйца, набухает и приобретает клейкую консистенцию, как это описано для осетровых. При проникновении сперматозоида через один из микропиле и высвобождении акросомы икра активизируется, и начинается развитие каскада событий. Эти изменения происходят в икре веслоносов в течение 15–20 минут. После оплодотворения включается быстрое расширение перивителлинового пространства между зародышем и яйцевой оболочкой и некоторая перестройка гранул пигмента для усиления рисунка «бычий глаз», наблюдаемого на полюсе икринки.

Возможность четко различать и точно определять пол и стадию половой зрелости у самок и самцов имеет решающее значение независимо от используемой техники. Webb et al. (2019) описали этапы развития женских половых желез с помощью идентификации результатов исследований биопсии гонад с макроскопическим и гистологическим описанием осетровых и веслоноса на восьми стадиях развития: 1) дифференциация; 2) превителлогенный период; 3) от раннего до среднего вителлогенного периода; 4) поздний вителлогенный период; 5) поствителлогенный / спелый период; 6) созревание и овуляция ооцитов; 7) постовуляторная стадия и 8) атретическая стадия. Оплодотворенные икринки становятся несколько крупнее, их размеры определяются около 2,5–4,0 мм. Оплодотворенные яйца являются демерсальными, они тонут и рассеиваются в потоке воды, чтобы укрепиться на гравийном субстрате, выбранном во время нереста (Purkett, 1961). Продолжительность эмбрионального развития находится в зависимости от температуры (Виноградов и др., 1997; Виноградов, Бекин, Магомаев, 1986).

Особенности биологии веслоноса – сходство с осетровыми, высокая скорость роста и плодовитость, ценная продукция и широкий спектр питания, – послужили основным стимулом к его промышленному разведению в рыбоводных хозяйствах России и мира.

Выполненный анализ опубликованных литературных источников позволил определить направление исследований по теме диссертации – изучение репродуктивной функции акклиматизированных самок веслоноса, впервые и неоднократно созревших в прудовых условиях юга России и отдавших икру в пищевых и рыбоводных целях.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась в течение двух рыболовных сезонов 2019–2020 годов в Научно-экспериментальном комплексе аквакультуры (НЭКА) «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КаспНИРХ) (рис. 3).



Рисунок 3. Карта научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС»

Объект исследований – самки веслоноса из ремонтно-маточного стада, выращенные от оплодотворения икры и созревшие в прудах этого предприятия, от которых неоднократно получали икру в пищевых и рыболовных целях.

Предмет исследования – репродуктивная функция самок веслоноса. В нерестовой кампании 2020 года исследовались 63 самки веслоноса общей массой 960,3 кг, которые неоднократно созрели и отдали икру в пищевых и рыболовных целях.

## 2.1. Постановка эксперимента

Отобранные производители были разделены по полу, затем в течение 10 минут перемещены в 18 закрытых бетонных бассейнов (рис. 4), которые снабжались аэрированной проточной водой со скоростью примерно 12 л/мин. Определение стадии зрелости самок веслоноса осуществляли путем отбора ооцитов с помощью щуповых проб, для чего вставляли щуп в брюшную полость на глубину 5–6 см и извлекали несколько яиц. Прижизненное получение икры веслоноса по методу С.Б. Подушка. В отношении самцов производился простой сбор спермы с помощью шприца или надавливания на живот в направлении уrogenитального отверстия (Mims, Shelton, 2015). На основе таких признаков, как цвет экстрадированной спермы и ее текучесть, отбирались только зрелые самцы.

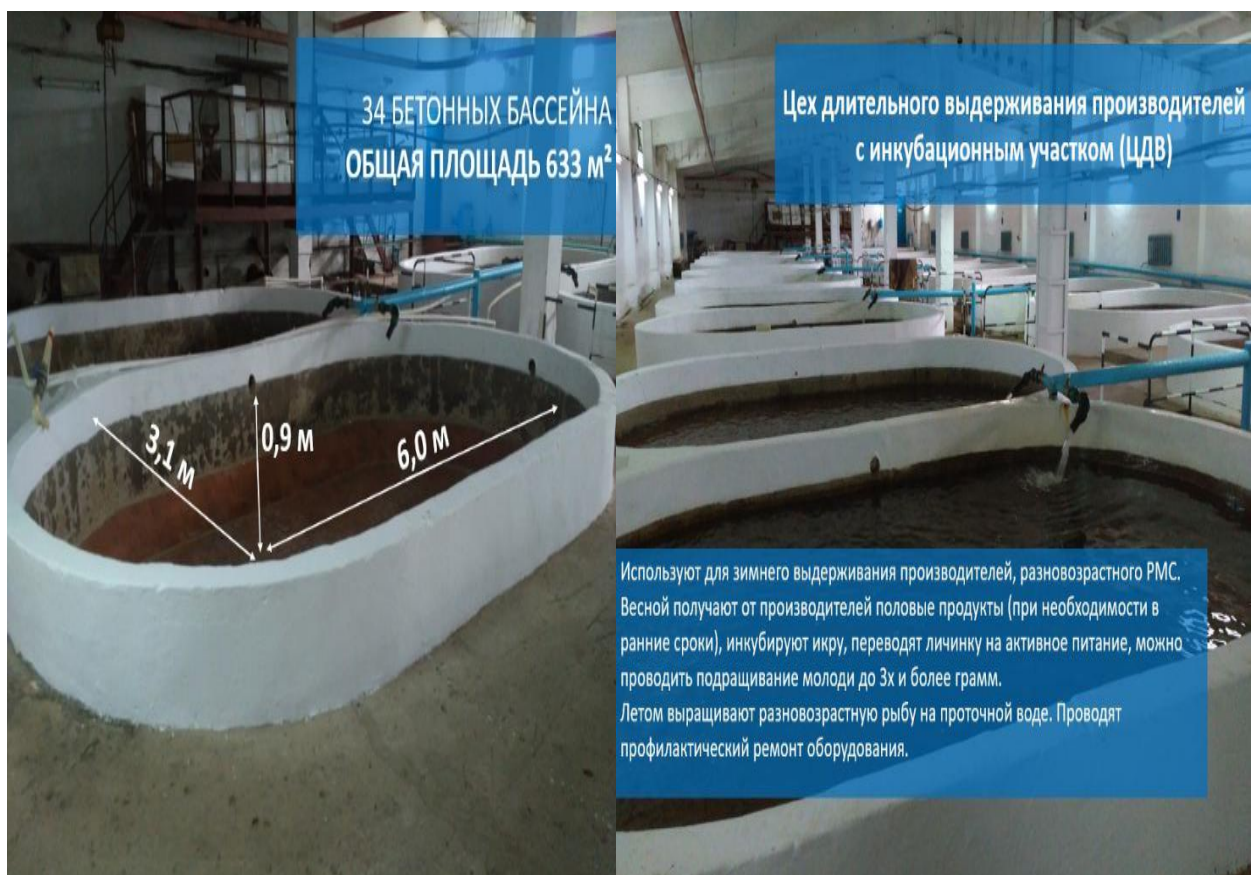


Рисунок 4. Бетонные бассейны для веслоносов-производителей с системой терморегуляции, ЦДВ

В каждом бассейне размещалось по пять рыб, отдельно самки и самцы. В бассейнах поддерживались необходимые условия: температура воды в оптимальном диапазоне (16–20 °С), содержание кислорода 5,5–6,2 мг/л и стабильный уровень рН (7,0–7,4). Для оценки репродуктивной функции самок веслоноса были определены следующие показатели: возраст достижения половой зрелости, количество и периодичность созреваний, выход икры, который определялся по формуле:

$$B = m/M \times 100 \%, \quad (1)$$

где  $m$  – масса икры, кг;

$M$  – масса самки, кг.

Все исследуемые 63 самки были условно разбиты на пять возрастных групп в зависимости от ввода в ремонтно-маточные стада: 1997, 2002, 2003, 2004 и 2005 годы.

## **2.2. Методы исследований**

В работе исследовались: физико-химические параметры воды в прудах, морфометрические, гематологические и биохимические показатели, характеризующие репродуктивную функцию самок веслоноса, отдавших икру и математические методы обработки полученных данных.

### **2.2.1. Определение физико-химических параметров воды**

Параметры качества воды контролировались каждую неделю, в том числе температура воды и растворенный кислород (DO, мг/л) измерялись каждый день с помощью портативного термооксиметра “Handy Polaris multiline P4” (Германия) – метод Винклера (Алекин и др., 1973). Значение рН измеряли еженедельно с использованием стендового измерителя рН уровней – рН-метр. Общий аммоний (NH<sub>3</sub>), нитрит и нитрат (NO<sub>2</sub> и NO<sub>3</sub>) измеряли с помощью спектрофотометра “Jasco UV-vis-NIR” (модель V-570). В целом руководствовались инструкцией, разработанной Шестериным с соавт. (1984).



### 2.2.2. Морфометрические измерения и показатели роста рыб

Фиксировались морфометрические показатели: масса и длина (наибольшей,  $L$ , и до развилки,  $l$ ), а также считывались данные электронных меток для информации об истории рыб. Об эффективности выращивания веслоноса в прудах судили по темпам роста, среднего прироста массы по формуле:

$$G = v_2 - v_1, \quad (2)$$

где  $G$  – прирост массы, кг;

$v_1$  – начальная масса, кг;

$v_2$  – конечная масса, кг,

и коэффициента упитанности по Фултону (Правдин, 1966) по формуле:

$$K = 100 \times (\text{масса, г}) / (\text{длина, см})^3, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент упитанности, в процентах.

### 2.2.3. Гематологические и биохимические параметры

Периферическую кровь для исследований отбирали из хвостовой вены самок веслоноса. Концентрацию гемоглобина (Hb) измеряли исходя из концентрации цианида гемоглобина с использованием спектрофотометра PE-5400 UV/Vis. Содержание общего белка в плазме крови оценивали с помощью рефрактометра IRF-22. Классификация лейкоцитов по мазкам крови с помощью скользящего предметного стекла (размер стекла 24 мм × 50 мм). Каплю цельной крови пигментировали May-Grünwald Giemsa и переносили на предметное стекло микроскопа, а для изучения морфологических изменений телец пользовались рекомендациями «Атлас крови рыб» (Иванова, 1983).

#### **2.2.4. Расчёты математической зависимости плодовитости самок веслоноса и выхода икры от морфометрических показателей**

Были проанализированы показатели выхода икры и плодовитости самок веслоноса, их морфометрические параметры (масса, длина и возраст первого созревания) для установления зависимости и разработки прогнозных данных получения икры для пищевых и рыбоводных целей.

##### **2.2.4.1. Расчёт выхода икры в пищевых целях от самок веслоноса**

Для расчёта прогнозирования использовались две группы: первая (1) – 22 самки веслоноса, которые неоднократно созрели в стаде, и вторая (2) – 6 рыб, созревших один раз в 2020 году. Модели прогнозирования были реализованы с использованием программы “DataFit” (версии 9) для выполнения нелинейной регрессии двух входных параметров – независимых факторов ( $X_1$  – масса рыбы, кг, и  $X_2$  – возраст первого созревания, лет). Эти два независимых фактора были выбраны нами исходя из установленной значимой связи между ними и количеством полученной икры. В качестве модели статистического анализа использовались следующие формулы:

$$Y = a \times (b)^{X_1} \times (X_2)^c, \quad (4)$$

$$Y = a \times X_1 + b \times X_2 - (c \times X_2)^2 - d, \quad (5)$$

где  $Y$  – количество полученной икры, кг;

$X_1$  – масса рыбы до получения икры, кг;

$X_2$  – возраст первого созревания, лет;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  – константы.

#### 2.2.4.2. Расчёт плодовитости самок веслоноса, отдавших икру в рыбоводных целях

Для прогноза абсолютной плодовитости самок веслоноса (9 особей) использовался показатель общей длины рыбы, который характеризовался кривой степенной функцией, оценивая долю дисперсии. Модель статистического исследования выполнена в соответствии с (Pitcher, MacDonald, 1973), по формуле:

$$Y = aX^b, \quad (6)$$

где  $Y$  – плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – длина, см;

$a$  и  $b$  – константы.

Pitcher, MacDonald (1973) показали, что соотношение между плодовитостью и массой является линейной функцией:

$$Y = aX + b, \quad (7)$$

где  $Y$  – плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – масса, кг;

$a$  и  $b$  – константы.

### 2.3. Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием академической версии программного обеспечения XLSTAT® 2019.2.1 и R (R Core Team 2016). Для анализа применялся уровень статистической значимости, установленный на уровне  $P < 0,05$  (доверительный интервал – 95 %) и толерантности 0,0001. Для определения коэффициента корреляции между репродуктивными параметрами, составом крови и морфометрическими показателями у самок веслоноса в период нереста использовались матрица Пирсона.



Рисунок 5. Программно-целевая модель исследований

Был проведен тест множественной линейной регрессии, который ограничивался наиболее значимой зависимой репродуктивной переменной, что выражается в следующей формуле:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i, \quad (8)$$

где  $Y_i = i^{th}$  – наблюдение зависимой переменной;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_p$  = Коэффициенты функции линейной регрессии;

$X_{i1} = i^{th}$  наблюдение  $i^{th}$ -независимой переменной.

Все наблюдения индексированы как  $i = 1, \dots, n$ ,  $\epsilon_i = i^{th}$  независимой одинаково распределенной нормой ошибки.

Обработка математического моделирования была разработана с использованием программного комплекса “Datafit 9.0” для расчета коэффициентов нелинейной регрессии. 3D-график поверхности отклика была нарисована с помощью пакета “Mathematica”. Данные представлены в результатах в виде «среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка».

В соответствии с темой диссертационной работы была построена программно-целевая модель исследований, представленная на рисунке 5.

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### 3.1. Температурный и гидрохимический режимы среды обитания

Нерестовые ритмы культивируемого веслоноса зависят от абиотических и биотических факторов среды обитания. Из абиотических особое значение имеют температурный и кислородный режимы, определяющие состояние рыб, развитие гонад в нерестовый период (Гришин, 2008; Мотлох, 2006). Основные показатели воды в сезоны 2017–2020 годов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сезонная динамика гидрохимических показателей в прудах, содержащих веслоноса, в 2017–2020 годах

месяц	год	T, °C	pH	O <sub>2</sub> , мг/л	O <sub>2</sub> , %	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л
IV	2017	14,85±0,45	8,51±0,04	10,97±0,22	1,08±0,02	0,146±0,010	0,025±0,002	0,720±0,066
	2018	14,07±0,83***	8,55±0,08	11,07±0,47	1,06±0,03	0,213±0,038	0,022±0,002	0,790±0,053
	2019	13,51±0,20	8,57±0,07*	11,73±0,72*	1,12±0,06*	0,054±0,008	0,010±0,002	0,500±0,053
	2020	11,90±0,41***	8,39±0,04	9,81±0,24	1,34±0,43***	0,291±0,025	0,012±0,003*	1,010±0,104
V	2017	19,33±0,33*	8,21±0,06***	8,63±0,21***	0,93±0,03***	0,297±0,035	0,022±0,005	1,267±0,145
	2018	19,89±0,47	8,35±0,08*	9,92±0,43	1,09±0,05	0,220±0,010	0,019±0,002	0,880±0,071
	2019	21,41±0,81**	8,23±0,07	8,77±0,43	0,98±0,06	0,213±0,021	0,029±0,003	1,527±0,217
	2020	18,91±0,78***	8,43±0,11***	9,48±0,69***	1,03±0,09***	0,412±0,063	0,041±0,006***	1,620±0,308
VI	2017	23,44±0,20*	8,51±0,05*	8,60±0,30	1,01±0,04	0,161±0,045	0,015±0,003*	0,990±0,129
	2018	25,27±0,53*	8,56±0,05	8,68±0,37	1,04±0,04	0,177±0,012	0,013±0,002*	0,640±0,045
	2019	25,23±0,35	8,34±0,06	7,45±0,49	0,90±0,06	0,238±0,041	0,021±0,007***	1,056±0,277***
	2020	24,26±0,12*	8,54±0,14	6,33±0,57	0,75±0,07	0,163±0,050***	0,019±0,008***	1,030±0,362***
VII	2017	25,51±0,22*	8,78±0,07	9,10±0,37	1,10±0,05	0,114±0,027	0,015±0,003	0,940±0,246
	2018	27,14±0,29***	8,41±0,07	7,59±0,56	0,94±0,07	0,248±0,036	0,023±0,004	0,960±0,142
	2019	25,43±0,18**	8,38±0,03	7,98±0,33	0,97±0,04	0,116±0,025*	0,018±0,003*	0,853±0,184*
	2020	26,80±0,25*	8,40±0,06*	6,38±0,44	0,80±0,05	0,366±0,044*	0,032±0,010***	2,067±0,487***
VIII	2017	25,53±0,43*	8,73±0,10	7,92±0,27	0,97±0,04	0,320±0,051	0,043±0,016***	1,720±0,421
	2018	23,11±0,62*	8,45±0,07	7,13±0,32	0,82±0,03	0,230±0,028**	0,022±0,004***	0,820±0,174*
	2019	23,43±0,29***	8,40±0,03	7,92±0,25	0,92±0,03	0,090±0,016*	0,008±0,001	0,667±0,079
	2020	24,27±0,13	8,76±0,06	7,76±0,42	0,93±0,05	0,168±0,031	0,018±0,003	0,433±0,057***
IX	2017	21,29±0,62***	8,70±0,04*	9,08±0,29	0,98±0,02*	0,146±0,023**	1,020±0,991***	0,740±0,075
	2018	18,45±0,09	8,48±0,05*	8,72±0,15	0,92±0,02*	0,342±0,034	0,027±0,006	0,050±0,250**
	2019	21,06±0,28***	8,35±0,05	8,20±0,27	0,92±0,03	0,046±0,011***	0,008±0,001	0,491±0,073
	2020	17,73±0,68*	8,81±0,07	9,29±0,57	0,97±0,05	0,083±0,020	0,008±0,001	0,256±0,034*
Среднее за сезон	2017	21,83±0,36***	8,56±0,03*	8,91±0,14*	1,00±0,01*	0,210±0,018***	0,190±0,167***	1,108±0,099***
	2018	21,32±0,51***	8,47±0,03**	8,85±0,21**	0,98±0,02**	0,236±0,012***	0,021±0,002***	0,856±0,058***
	2019	21,81±0,47***	8,38±0,02**	8,66±0,24***	0,97±0,02*	0,127±0,012***	0,016±0,002***	0,880±0,080***
	2020	20,58±0,57***	8,55±0,04***	8,18±0,25	0,97±0,08***	0,259±0,023***	0,023±0,003***	1,160±0,157***

Примечание: статистическая значимость – \* $P \geq 0,95$ ; \*\* $P \geq 0,99$ ; \*\*\* $P \geq 0,999$ .

В рыбоводные периоды 2017–2020 годов наблюдалась закономерность изменения параметров воды в прудах с культивируемым веслоносом. Температура воды является одним из определяющих факторов качества воды и

непосредственно влияет на нерестовый цикл веслоноса (Богданов, Асанов, 2005; Пономарев и др., 2007; Харчук, 2007). Несмотря на то, что колебания температуры воды происходят в связи с изменением климатических условий (Boyd, 2017), её значения за четырёхлетний период изменялись в довольно широком диапазоне – от 12 до 27 °С. Примечательно, что все минимальные и максимальные значения температуры были отмечены в пределах оптимальных диапазонов для допустимых условий выращивания и нереста для производителей веслоноса (Dillard et al., 1986).

Иногда (в апреле) минимумы значения температуры воды опускались ниже допустимого, однако полученные результаты согласуются с данными исследований о родной среде обитания веслоноса, что доказывает возможность выживания рыб в широком диапазоне температур воды – от чуть выше 0 до около 37,78 °С в качестве максимума (Mims и др., 2000). Находясь за пределами диапазона «стрессора», веслонос не нерестится ни при более низких, ни при более высоких температурах до тех пор, пока не будут достигнуты оптимальные уровни в соответствии с законом Шелфорда (Boyd, 2017). Установлено, что температура воды для наилучшего роста и нереста веслоноса составляет от 18 до 27 °С (Гришин, 2008; Лисовская, Адобовский, 2001; Поляков, Бузмаков, 2008). За весь период наблюдений 2020 год оказался наиболее неблагоприятным для нереста рыб, наблюдались колебания сезонного ритма в температурном режиме воды. Минимальное значение температуры (12 °С) было достигнуто в апреле, а затем, с мая по конец июля, наступило резкое повышение температуры в прудах, а середины августа до конца сезона (в сентябре) постепенно снижалась до 18 °С ( $P = 0,05$ ). Такие резкие колебания температуры воды могли сказаться на процессе созревания гонад в сравнении с предыдущими годами при стабильных температурах, когда нерест не индуцировался. Сравнительные данные гидрохимического режима в нагульных маточных прудах в 2017–2020 годах представлены в таблице 3.

Сравнительная оценка измерений качества воды для товарного выращивания веслоноса в нагульных маточных прудах в летний период 2017–2020 годов

Показатель	2017			2018			2019			2020			норматив	ПДК
	Ср.	min	max	Ср.	min	max	Ср.	min	max	Ср.	min	max		
Температура воды, °С	21,8	12,4	29,0	21,3	10,6	29,0	21,8	12,2	27,5	20,6	9,3	25,0	более +18	до 30
Водородный показатель (рН)	8,6	7,1	9,5	8,5	8,0	9,1	8,4	7,9	8,8	8,6	7,8	9,7	6,5–8,5	9,0
Концентрация кислорода, мг/л	8,9	6,1	13,0	8,9	5,0	14,0	8,7	4,0	17,0	8,2	2,6	17,5	5,0–7,0	до 10
Азот аммонийный, мг/л	0,21	0,02	0,66	0,24	0,08	0,57	0,13	0,02	0,40	0,26	0,03	0,86	до 1,0	не более 1,5
Азот нитритов, мг N/л	0,19	0,002	0,14	0,02	0,005	0,07	0,02	0,002	0,07	0,02	0,003	0,12	не более 0,2	менее 1,0
Азот нитратов, мг N/л	1,1	0,2	3,7	0,9	0,1	3,0	0,9	0,10	3,20	1,2	0,10	5,8	0,2–2,0; допустимый предел - 3,0	1,2
Запахи, привкусы	Посторонних запахов и привкусов воды быть не должно													
Прозрачность, м	1,5											не менее 0,75–1,0	до 2,2	
Соленость воды, г/л	0,00-0,01											до 4–6		

*Примечание: ПДК – предельно допустимая концентрация; норматив – рекомендации (Козлов, 1998; Краюшкина, Семёнова, 1991; Мартемьянов, 2015) для выращивания веслоноса.*

При выращивании веслоноса важно поддерживать все параметры среды обитания в оптимальных пределах, что позволит избежать стресса не только из-за отдельного фактора, например, температуры воды, но и сочетания двух или более неблагоприятных факторов, способствующих появлению большего стресса, чем один любой в отдельности. Установлена зависимость между температурой и азотистыми соединениями, особенно при температуре выше 21 °С ( $P = 0,001$ ), что согласуется с Boyd (2017), Elnakeeb et al. (2020).

Из трех изучаемых азотистых соединений наибольшие изменения проявились у нитратного азота, особенно в 2020 году.

Значения рН были примерно одинаковые за все годы исследований, при этом средние значения колебались в оптимальных диапазонах от  $8,38 \pm 0,02$  до  $8,56 \pm 0,03$  и около  $8,55 \pm 0,04$  в 2020 году ( $P = 0,001$ ), а концентрация аммонийного азота в прудах повышалась при низком рН.

Содержание кислорода в воде нагульных прудов определялось ежедневно с целью контроля важного показателя для роста гидробионтов (Письменная, 2005; Субботкин, Субботкина, 2006). Значения растворенного кислорода выше



5 мг/л идеально подходят для выращивания рыб. Значения концентрации кислорода ниже 1 мг/л считаются летальными, если воздействие на рыбу продолжается, и, соответственно, приводят к неспособности образования гонад (Козлов, 1998). Во все периоды исследования концентрация растворенного кислорода снижалась с повышением температуры с начала июня до конца августа (рис. 6), в дальнейшем эти различия были незначительными.

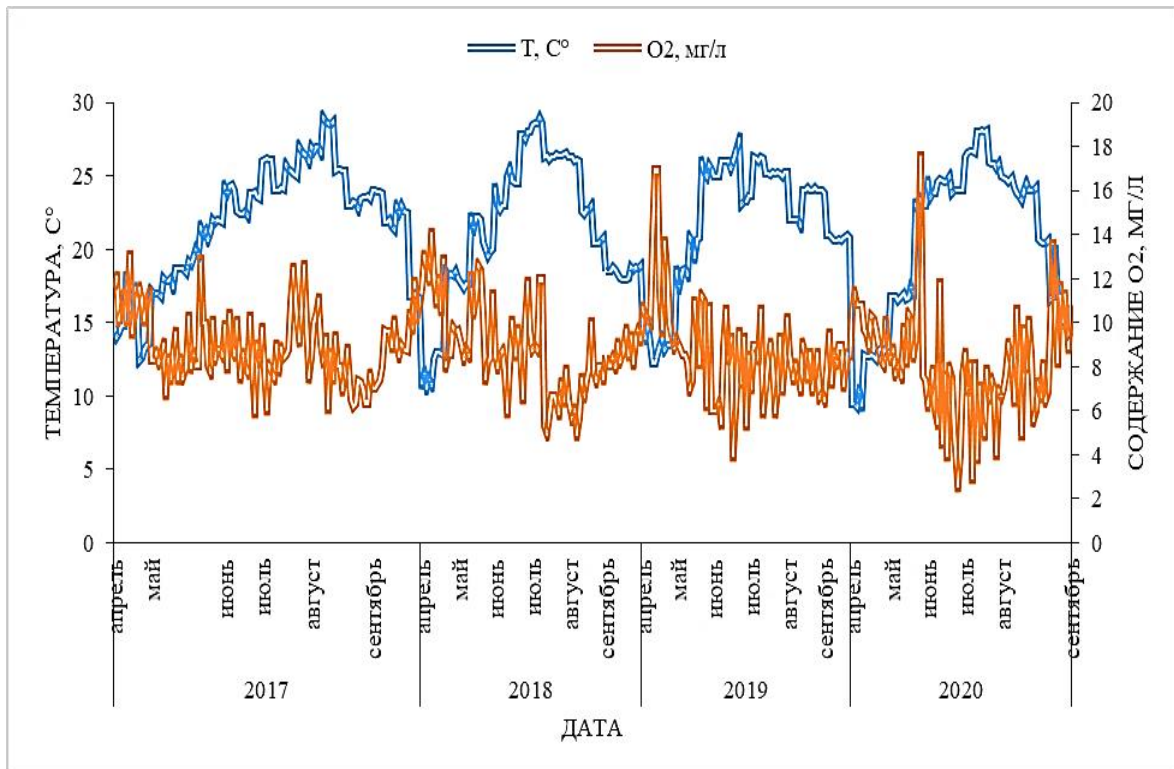


Рисунок 6. Динамика температурного режима и насыщения кислорода в рыбоводных прудах

Средние значения растворенного кислорода были выше в 2017 году ( $8,91 \pm 0,14$  мг/л,  $P = 0,05$ ) с последующим снижением в 2018 году ( $8,85 \pm 0,21$  мг/л,  $P = 0,01$ ) и 2019 году ( $8,66 \pm 0,24$  мг/л,  $P = 0,001$ ). В 2020 году был зафиксирован самый низкий уровень растворенного кислорода со средним значением  $8,18 \pm 0,25$  мг/л, а в летнее время (июль) концентрация кислорода опускалась ниже 3,0 мг/л., но данный фактор не сказался отрицательно на нерест веслоноса, что связано с постоянным присутствием рыб в прудах в более глубоких слоях воды из-за их морфологического строения (Бреденко, 1999а).

На рисунке 6 показана динамика изменения содержания кислорода в воде в зависимости от ее температуры. График иллюстрирует, что насыщение кислородом июне и июле 2020 года было ниже, чем в течение трех других лет (менее 5,0 мг/л). Из-за низкой концентрации растворенного кислорода в донных слоях пруда активное плавание веслоноса представляет собой попытку вдохнуть большого количества растворенного кислорода (Mims, Shelton, 2015). Подобное поведение объясняет увеличение уровня азотистых соединений, выделяемых рыбой, и активные движения рыб перед спариванием как имитацию миграционного гнездового поведения.

Аналогично рассмотренному выше примеру связи между азотистыми соединениями и температурой воды наблюдается обратная зависимость между кислородом и содержанием как аммиачного, так и нитратного азота.

Представленные в таблице 4 результаты корреляционной матрицы показывают, что отрицательная корреляция наблюдалась между уровнями температуры и кислорода ( $r = -0,596$ ,  $P = 0,000$ ).

Таблица 4

Коэффициенты корреляционная матрица Пирсона между параметрами качества воды

Показатель	$T$ , °C	pH	$O_2$ , мг/л	$NH_4$	$NO_2$
pH	0,080 <sup>нз</sup>				
$O_2$ , мг/л	-0,596 <sup>***</sup>	0,277 <sup>*</sup>			
$NH_4$	-0,000 <sup>нз</sup>	-0,229 <sup>нз</sup>	-0,160 <sup>нз</sup>		
$NO_2$	0,122 <sup>нз</sup>	-0,358 <sup>*</sup>	-0,222 <sup>нз</sup>	0,392 <sup>**</sup>	
$NO_3$	0,104 <sup>нз</sup>	-0,333 <sup>*</sup>	-0,219 <sup>нз</sup>	0,502 <sup>***</sup>	0,897 <sup>***</sup>

Примечание: \*корреляция значима на уровне 0,05 (двусторонний); \*\*корреляция значима на уровне 0,01 (двусторонняя); \*\*\*корреляция значима на уровне 0,001 (двусторонняя); незначительный – нз.

Кроме того,  $NO_3$  находился в сильной корреляции с  $NH_4$  и  $NO_2$ , в данном случае была зафиксирована наиболее сильная положительная корреляция ( $r = 0,502$  и  $0,897$ ;  $P = 0,000$  для обоих показателей соответственно). При этом зафиксирована положительная корреляция между  $NH_4$  и  $NO_2$  ( $r = 0,392$ ,  $P = 0,01$ ). Слабая положительная корреляция наблюдалась между pH и  $O_2$  ( $r = 0,277$ ,  $P = 0,05$ ). Напротив, pH имел умеренную парную взаимосвязь в виде отрицательной корреляции с  $NO_2$  и  $NO_3$  ( $r = -0,358$  и  $-0,333$ ;  $P = 0,01$  для обоих показателей соответственно). Другие отношения между

параметрами показали низкие или незначительные корреляции. Корреляционная матрица продемонстрировала и объяснила взаимосвязи между физико-химическими измерениями воды и динамической корреляцией показателей за все годы исследования. Примечательно, что содержание азотистых соединений (табл. 4), по-видимому, влияли на уровни растворенного кислорода. Вода в прудах обогащается растворенным кислородом путем диффузии из воздуха в поверхностных слоях в ночное время (Boyd, 2017).

Таким образом, средние значения температурного и гидрохимического режимов в прудах на протяжении всего исследуемого периода соответствовали требованиям рыбоводства и были в допустимых пределах (Mims et al., 2000). Наблюдаемое снижение температуры воды в 2020 году является важнейшим определяющим фактором подготовки самок веслоноса к нересту при сохранении остальных показателей на допустимых уровнях.

### **3.2. Изменение массы самок веслоноса за летний нагул и зимовку**

Изменение массы самок веслоноса обусловлено рядом факторов, связанных с биологическим состоянием созревающих рыб, и физико-химической характеристикой водной среды (Vasilyeva, Elnakeeb, 2019; Элнакиб, Анохина, 2019). В работе рассматриваются сезонные закономерности взаимосвязи между изменениями массы и успешности нереста самок веслоноса. Анализировались показатели в два этапа: набор массы в период летнего нагула и её потерю – во время зимовки. Проведенные исследования показали, что в период летнего нагула в 2017–2020 годах для трех возрастных групп за каждый сезон прирост массы самок рыб в прудах различался в зависимости от возраста (20, 15 и 14 лет) (табл. 5).

Таблица 5

Изменение массы тела веслоноса за летний период 2017–2020 годов

Показатели	2017 год		2018 год	
	Масса начальная, кг (весна)	Масса конечная, кг (осень)	Масса начальная, кг (весна)	Масса конечная, кг (осень)
Возраст 20–21 лет ( <i>n</i> = 45 особей)				
<i>M ± m</i>	14,06±0,22	15,21±0,23	13,43±0,20	15,10±0,32
Min-max	12,2–18,0	12,3–18,0	10,6–17,0	10,5–19,7
Прирост, кг	1,06±0,21 0,2/3,9		1,68±0,34 0,1/5,9	
<i>M ± m</i>				
Min/max				
Возраст 15–16 лет ( <i>n</i> = 20 особей)				
<i>M ± m</i>	14,15±0,30	14,75±0,34	13,10±0,46	14,15±0,48
Min-max	11,4–16,5	11,4–17,8	10,2–19,8	11,1–20,3
Прирост, кг	0,64±0,26 0,1/2,9		1,05±0,34 0,1/4,5	
<i>M ± m</i>				
Min/max				
Возраст 14–15 лет ( <i>n</i> = 33 особи)				
<i>M ± m</i>	12,98±0,33	13,37±0,28	11,85±0,35	13,22±0,40
Min-max	9,7–15,3	9,6–15,6	9,1–19,9	9,9–18,5
Прирост, кг	0,24±0,24 0,1/2,2		1,38±0,28 0,1/5,2	
<i>M ± m</i>				
Min/max				
Показатели	2019 год		2020 год	
	Масса начальная, кг (весна)	Масса конечная, кг (осень)	Масса начальная, кг (весна)	Масса конечная, кг (осень)
Возраст 22–23 лет ( <i>n</i> = 48 особей)				
<i>M ± m</i>	13,86±0,25	16,09±0,36	13,24±0,31	14,59±0,26
Min-max	9,8–17,6	11,4–21,2	9,1–17,1	10,8–17,6
Прирост, кг	2,2±0,26 0,3/6,6		1,3±0,14 0,4/2,8	
<i>M ± m</i>				
Min/max				
Возраст 17–18 лет ( <i>n</i> =18 особей)				
<i>M ± m</i>	12,93±0,53	15,38±0,58	13,11±0,42	14,41±0,41
Min-max	9,5–18,6	12,0–20,5	10,3–16,5	11,6–18,0
Прирост, кг	2,5±0,49 0,8/6,5		1,3±0,21 0,1/3,0	
<i>M ± m</i>				
Min/max				
Возраст 16–17 лет ( <i>n</i> = 49 особей)				
<i>M ± m</i>	12,46±0,32	14,17±0,32	12,01±0,39	13,01±0,27
Min-max	9,5–16,8	11,1–18,1	8,4–17,6	10,3–16,2
Прирост, кг	1,7±0,20 0,1/4,9		1,0±0,20 0,2/3,2	
<i>M ± m</i>				
Min/max				

За летний нагул 2017 года минимальный прирост массы 20-летних самок в среднем составлял 1,1 кг , или 7,8 % от начальной массы, а максимальный- 3,9 кг. При этом было установлено, что некоторые особи не питались и теряли до 3,8 кг массы. Оказалось, что привес 15-летнего веслоноса был почти вдвое

меньше и в среднем составлял 0,64 кг, или 4,5 %, максимум – 2,9 кг, минимум – 0,1 кг рыбы, отдельные рыбы потребляли корм неактивно и теряли до 0,9 кг. Масса 14-летних самок веслоноса в период летнего нагула изменялась незначительно, показатель среднего прироста увеличился всего на 0,24 кг, или на 1,9 %, при максимальных (2,2 кг) и минимальных значениях (0,1 кг), наблюдались и потери массы до 2,4 кг.

Таким образом, в течение летнего содержания самок веслоноса в нагульных прудах в 2017 году старшевозрастные группы набирали больше массу, чем младшевозрастные, но во всех группах фиксировались отдельные непитающиеся особи, их масса даже уменьшалась.

В летний сезон 2018 года у 21-летних самок веслоноса средний прирост составил 1,7 кг, или 12,5 % от исходного, максимальный – 5,9, минимальный – 0,1 кг, а потери массы у отдельных особей составляли до 6,0 кг. Для 16-летних рыб средний прирост веса составил 1,05 кг, или 8 % от исходной массы, при максимуме 4,5 и минимуме 0,1 кг. Результаты показывают, что для группы рыб в возрасте 15 лет прирост веса составил 1,38 кг, или 11,7 % от исходного веса, при этом максимум-минимум составлял около 5,2 и 0,1 кг.

В целом можно констатировать, что все возрастные группы в период летнего нагула 2018 года примерно одинаково набирали массу, средний прирост составлял 10,7 % от исходной, потери фиксировались на уровне 0,1 кг.

Что касается летних периодов 2019–2020 годов, то был зафиксирован средний прирост массы самок веслоноса в 2,2, 2,5 и 1,7 кг для возрастных групп 22, 17 и 16 лет, что составляло 15,9, 19,3 и 13,6 % соответственно, что примерно в 2,1, 4,3 и 7,2 раза больше, чем в 2017 году для всех трех возрастных групп соответственно. Выполненные исследования и анализ полученных результатов показали, что наименьший прирост массы самок веслоноса наблюдался в 2017 году, затем наметилась тенденция роста и максимальный прирост был зафиксирован в 2019 и 2020 годах.

Можно также констатировать изменение массы самок веслоноса в зависимости от состояния воды в период активного летнего нагула.

Установленная взаимосвязь между температурой и кислородом ( $r = -0,596$ ,  $P = 0,000$ ) имела характерную закономерность в течение четырех летних сезонов как фактор внешней среды, который непосредственно влиял на прирост массы тела и формирование гонад (пластический и генеративный рост), тем самым подготавливая особей к успешному нересту (Boyd, 2007).

В результате было показано, что различия в средних значениях изменений масса рыбы в каждой возрастной группе происходят независимо, поэтому исследуемые сезоны отличаются друг от друга в определении динамики роста. Наибольшее значение прироста массы самок веслоноса наблюдалось в 2019 году, что подтверждает предположение о том, что условия окружающей среды с физиологическим гомеостазом рыб подготовили их к формированию гонад и подготовке к нересту в следующем сезоне 2020 года. Можно предположить, что в эти годы рост и развитие гонад (физиологический рост) наряду с репродуктивным ростом продолжались до нереста в 2020 году.

Таким образом, факторы, влияющие на изменения массы самок веслоноса, могут быть определены: физико-химическими показателями качества воды; особенностью поведения рыб, связанной с питанием, поиском пищи, конкуренцией корма и т. д.; имеющимися запасами и требуемой энергией для роста и размножения (Elnakeeb et al., 2020; Mims et al., 2000).

Проводились исследования по изучению потери массы рыб в зимние периоды 2017–2018, 2018–2019 и 2019–2020 годов в зимовальных прудах.

В зимний сезон 2017–2018 годов потери массы самками веслоноса в возрасте 21 года составили в среднем 1,8 кг, или 11,9 % от исходной, тогда как 16-летние рыбы со средней массой – 14,7 кг теряли до 1,3 кг, или 8,5 % от массы перед зимовкой.

Примечательно, что наиболее значительная потеря массы тела веслоноса наблюдалось в 3-й группе (возраст – 15 лет) по сравнению с двумя другими возрастными группами и в среднем составляла 2,3 кг, или 17 % от исходной.

Таблица 6

Потери массы тела веслоноса за период зимовки 2017–2018, 2018–2019 и 2019–2020 годов

Показатели	2017–2018 годы		2018–2019 годы		2019–2020 годы	
	Масса конечная, кг (весна)	Масса начальная, кг (осень)	Масса конечная, кг (весна)	Масса начальная, кг (осень)	Масса конечная, кг (весна)	Масса начальная, кг (осень)
Поколение 1997 года ( $n = 113$ особей)						
Возраст, лет	21		22		23	
$M \pm m$	15,12±0,25	13,46±0,22	15,17±0,34	13,86±0,26	15,95±0,39	13,27±0,32
$\sigma$	1,55	1,37	2,19	1,65	2,37	1,96
Потеря массы, кг	-1,81		-2,04		-1,35	
Min/max	-0,1/-4,4		-0,2/-4,9		-0,6/-3,3	
Поколение 2002 года ( $n = 55$ особей)						
Возраст, лет	16		17		18	
$M \pm m$	14,76±0,34	13,1±0,46	14,38±0,50	12,93±0,53	15,38±0,58	13,11±0,42
$\sigma$	1,52	2,06	2,13	2,23	2,46	1,78
Потеря массы, кг	-1,26		-1,46		-0,88	
Min/max	-0,2/-6,2		-0,1/-4,2		-0,4/-6,6	
Поколение 2003 года ( $n = 89$ особей)						
Возраст, лет	15		16		17	
$M \pm m$	13,24±0,29	12,19±0,43	13,22±0,40	12,54±0,30	14,30±0,30	12,14±0,36
$\sigma$	1,47	2,17	2,27	1,74	1,73	2,05
Потеря массы, кг	-2,25		-2,28		-2,16	
Min/max	-0,1/-5,7		-0,2/-6,7		-0,3/-8,0	

Полученные в 2018–2019 годах результаты показали, что 22-летние особи снизили массу в среднем на 2,04 кг, или на 13,5 % от исходного, а снижение массы во 2-й группе (возраст 17 лет) составило 1,46 кг, или 10,15 %. Но, как обычно, наибольшие темпы потери массы тела наблюдались у 16-летних особей – минус 2,28 кг, или 17,25 %. В зимний период 2019–2020 годов масса самок веслоноса уменьшилась примерно на 1,4, 0,9 и 2,2 кг для групп в возрасте 23 (табл. 6), 18 и 17 лет, что составляло 8,5, 5,7 и 15,1 % к исходной массе соответственно.

Таким образом, исследование потерь массы самок веслоноса в течение трех зимних периодов показали, что самые большие показатели были зафиксированы за период зимнего содержания в 2018–2019 годов, а в течение зимнего сезона 2019–2020 годов наблюдались самые низкие значения потерь массы тела рыб. Полученные результаты по возрастным группам показали, что средние различия потери массы рыб не являются значимыми и не влияют на показатели коэффициента изменения массы для каждой из возрастных групп (возраст, LS Mean = -1,776, -1,925 и -1,473;  $Pr > F = 0,354$ ). Напротив, на

потерю массы существенно влиял сезонный фактор (сезон, LS Mean =  $-1,191$ ;  $-1,727$  и  $-2,256$ ;  $Pr > F = 0,002$ ).

Из вышесказанного понятно, что влияние двух факторов в совокупности (сезон и возраст) более эффективно, чем каждого фактора в отдельности. Установлено, что зимой 2018–2019 годов потери массы у особей варьировали меньше, чем в предыдущую зиму (2017–2018 годы), что подтверждает особенность самок поддерживать свою массу, играющую жизненно важную роль с точки зрения регуляции развития гонад и гаметогенеза, перед вступлением в сезон нереста весной и летом 2020 года, что согласуется с исследованиями Бреденко (1999с) и Виноградова с соавт. (1987).

### **3.3. Морфометрические показатели веслоноса**

Неоспорим тот факт, что фенотип животного определяется его генотипом и окружающей средой. Часто предполагается, что фенотип – это совокупность генотипа, условий среды и взаимодействия между ними, одни генотипы лучше адаптируются в одной среде, другие – в другой. Предыдущие исследования и опыты показывают, что среди наиболее значимых факторов, способствующих изменениям морфологических признаков, важнейшим является физиологический (Сенникова, Докучаева, 2015; Шумеева, Ложниченко, 2009), который тесно связан с пониманием производственного процесса и управления им (Elnakeeb и др., 2020). Что касается нашего исследования, то основные особенности морфологических аспектов строения и динамики роста самок веслоноса, по-видимому, были различны в возрастных группах, особенно в период созревания (табл. 7).

В первой группе (поколение 1997 года) длина рыбы до развилки ( $l$ ) в среднем составляла 134 см, а наибольшая длина ( $L$ ) – до 146 см. Для 2-й (поколение 2002 года) и 3-й групп (поколение 2003 года) показатели длины до развилки – 133 и 129 см, а наибольшей длины ( $L$ ) – 147 и 141 см соответственно. В общей сложности стандартная общая длина 52 самок



веслоноса в среднем составила: длина до развилки – 132,02, наибольшая длина – 144,48 см.

Таблица 7

Морфометрические показатели разновозрастных ремонтных групп веслоноса

Показатели	Масса рыб, кг	Длина рыб, см		Коэффициент упитанности (по Фультону), $KF$
		Длина до развилки, $l$	Наибольшая длина, $L$	
Поколение 1997 года (возраст 23 года, $n = 25$ особей)				
$M \pm m$	15,98±0,47	134,04±1,3	146,08±1,36	0,51±0,01
$\sigma$	2,34	6,48	6,81	0,05
$CV, \%$	14,63	4,84	4,66	10,68
Поколение 2002 года (возраст 18 лет, $n = 9$ )				
$M \pm m$	16,08±0,91	133,33±1,69	146,78±1,91	0,51±0,02
$\sigma$	2,73	5,07	5,72	0,06
$CV\%$	16,98	3,81	3,9	11,26
Поколение 2003 года (возраст 17 лет, $n = 18$ )				
$M \pm m$	13,57±0,4	128,56±1,55	141,11±1,27	0,49±0,02
$\sigma$	1,68	6,59	5,4	0,08
$CV, \%$	12,37	5,13	3,83	16,82

Наиболее сильная положительная взаимосвязь была выявлена между средней стандартной и общей длиной ( $r = 0,942$ ;  $P = 0,000$ ) (табл. 8). В то же время наблюдалась средняя положительная корреляция между длиной рыб и их возрастом ( $r = 0,324$  и  $0,275$ ;  $P = 0,019$  и  $0,048$  стандартной общей длины соответственно). Результаты применения коэффициента корреляции доказали, что существует значимая взаимосвязь между показателем длины и возрастом, которая является линейной и достигается однородностью в модели корреляции (Gulland, 1971).

Таблица 8

Корреляции Пирсона между попарными комбинациями разной длины (наибольшая длина,  $L$ , длина до развилки,  $l$ ) и возраста зрелости, 2020 год

Показатели	Кол-во проб	$r$	95 % CI для $\rho$	P-Value
Наибольшая длина ( $L$ ), см × возраст, лет	52	0,324	(0,056, 0,549)	0,019
Длина до развилки ( $l$ ), см × возраст, лет	52	0,275	(0,003, 0,510)	0,048
Длина до развилки ( $l$ ), см × наибольшая длина ( $L$ ), см	52	0,942	(0,901, 0,967)	0,000

Примечание: CI – доверительный интервал;  $r$  – коэффициенты корреляционная матрица карла Пирсона.

Более того, самки 1-й и 2-й возрастных групп превышают общие средние значения как для длины до развилки, так и наибольшей длины ( $l$ , 134 и 133 см,  $L$  от 146 до 147 см) при установленном среднем возрасте 21 лет.

Результаты регрессионной функции между средним стандартом и общей длиной в трех возрастных группах показывают, что во второй возрастной группе (возраст 18 лет) она статистически существенна ( $R^2 = 89,4\%$ ;  $Pr > |t| < 0,0001$ ). При сравнении не было зафиксировано значительных различий по шкалам длины для младшей и старшей возрастных групп (17 и 22 года), это подтверждает, что рыбы в возрасте 18–20 лет растут быстрее и набирают наибольшие показатели массы и длины, чем младшевозрастные особи.

Из вышеизложенного видно, что возраст 18 лет и старше для самок веслоноса является наиболее эффективным в выражении скорости линейного роста. Это согласуется с выводами Hupfeld et al. (2016), которые подтвердили, что самки веслоноса в возрасте 18 лет, отловленные в реке Миссисипи, имели аналогичные соотношения возраста и длины (Kramer et al., 2019).

Результаты, полученные по самкам веслоноса в нерестовый сезон 2020 года (табл. 9), показывают, что независимо от скорости линейного роста соотношение между длиной и массой рыб остаются относительно одинаковыми в разном возрасте зрелости. Выполненные исследования соотношения длины и массы веслоноса в трех изучаемых возрастных группах показали, что существуют широкие диапазоны возрастов между группами, совпадающие с различными вариантами с индивидуальными особенностями созревающих рыб. Всё вышеперечисленное в различной степени влияет на рост рыб.

Таблица 9

Результаты степенной регрессии для отношения длины к массе самок веслоноса в прудах нагула

Возрастные группы рыб	$a$	$b$	$R^2$	Модели роста
1-я группа (поколение 1997 года)	0,0004	3,0	0,4685	IS
2-я группа (поколение 2002 года)	0,0002	3,2	0,4744	PA
3-я группа (поколение 2003 года)	1,22	0,5	0,0263	NA

Примечание:  $a = y$  – перехват;  $b$  – угловой коэффициент прямой;  $R^2$  – коэффициент определения; модели роста: NA – отрицательный аллометрический ( $b < 3$ ), IS – изометрический ( $b = 3$ ), PA – положительный аллометрический ( $b > 3$ ).

Двумерный анализ морфометрических показателей трех разновозрастных групп показал трехфазный характер роста: когда значение  $b < 3$ , рыба растет быстрее по длине, чем по массе; когда значение  $b > 3$ , самка набирает быстрее массу, чем увеличивается в длину, тогда как при  $b = 3$  рост является изометрическим (Бубунец, 2016; Донник и др., 2014).

В отношении типа роста применительно к 1-й группе самок веслоноса (1997 года происхождения) выявлено, что почти 48,1 % всех рыб демонстрировали изометрический рост ( $b = 3$ ,  $R^2 = 0,4685$ ), тем самым подтверждая то, что форма рыбы не менялась с увеличением массы и длины. Напротив, в оставшихся двух группах около 51,9 % всех самок по результатам наблюдения показали аллометрический рост (2-я и 3-я группы,  $b > 3$  и  $b < 3$  (3,2 и 0,5);  $R^2 = 0,4744$  и 0,0263 соответственно). Вариация массы тела рыб колебалась между 2-й и 3-ей группами от 16,08 до 13,57 кг, где разница в длине была соответствующей (Elnakeeb et al., 2020).

На рисунке 7 представлен двойной логарифмический график зависимости массы самок веслоноса от длины, основанный на функции Фултона, который показывает три типа роста рыб. Первая группа (А):  $n = 25$  (48 %),  $R^2 = 0,4685$  (46,85 %),  $CV$  (%) = 10,68; тип роста – IS. Вторая группа (В):  $n = 9$  (17 %),  $R^2 = 0,4744$  (47,44 %),  $CV$  (%) = 11,26; тип роста – PA. Третья группа (Б):  $n = 18$  (35 %),  $R^2 = 0,0263$  (2,63 %),  $CV$  (%) = 16,82; тип роста – NA.

В этом контексте около 50 % самок веслоноса имели изометрическую схему роста. Зависимость фактора обусловленности и отношения массы к длине рыб взаимосвязанна. Wootton (1990) предположил, что если рыбы растут изометрически, они сохраняют форму тела, а удельный вес также останется неизменным в течение всей жизни. В таких случаях значение  $b$  должно быть равно 3,0. Следовательно, данная модель роста у рыб подчиняется закону куба (Королева и др., 2017).

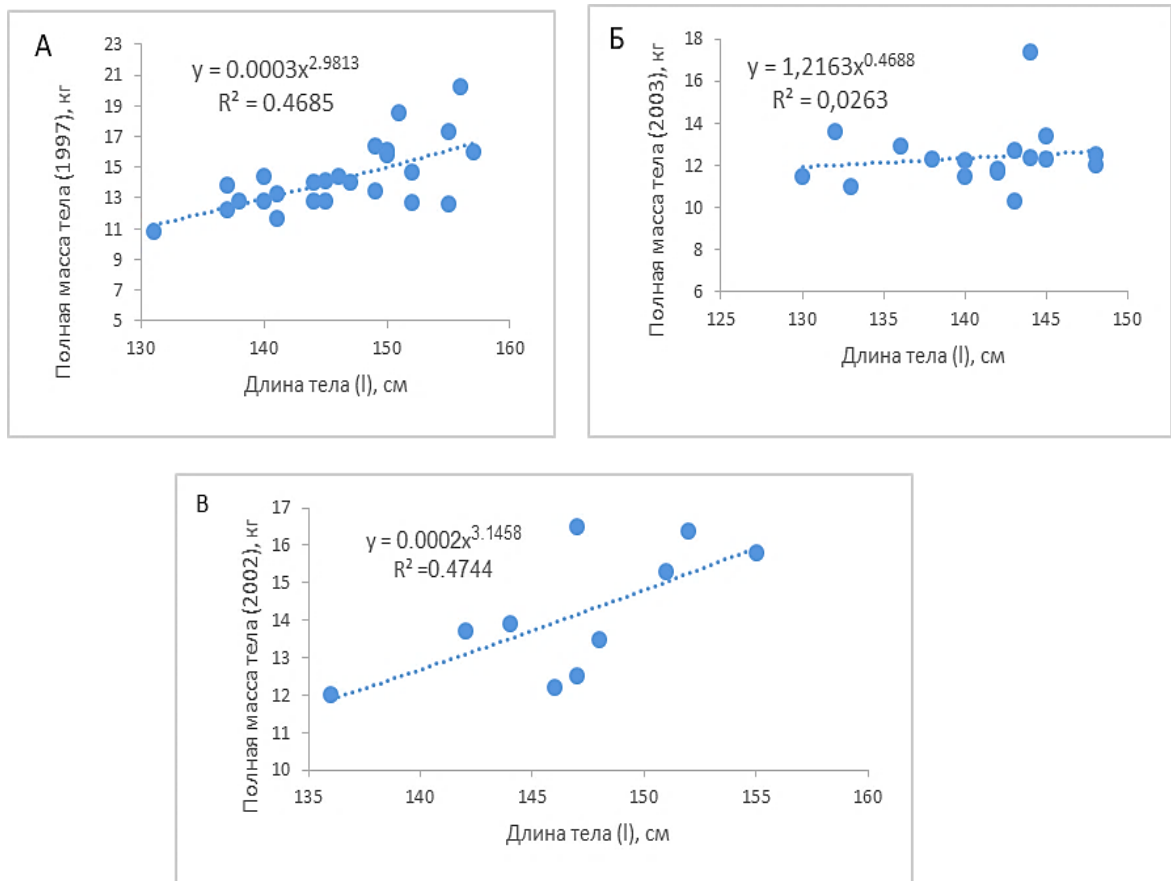


Рисунок 7. Двойной логарифмический график зависимости массы самок веслоноса от длины, основанный на функции Фултона, показывающий три типа роста

Как правило, биологические и физические обстоятельства могут быть выражены с помощью фактора состояния (упитанность по Фультону) для оценки расхождения морфометрических параметров, связанных с характеристиками роста. Более того, в системе прудового культивирования основная роль фактора физического состояния состоит в оценке успешности сезона (Билык и др., 2018; Докучаева и др., 2013). В настоящем исследовании значения фактора состояния зрелого веслоноса (*Polyodon spathula*) основаны на возрастных группах со средними значениями коэффициента упитанности по Фультону – 0,51, 0,51 и 0,49 в 1-й, 2-й и 3-й группах соответственно (табл. 7). Значение показателя упитанности меньше единицы указывает на влияние морфометрических аспектов на характер роста в период полового созревания самок веслоноса.

Таким образом, аллометрический рост рыб для 2-й и 3-й групп из-за их раннего возраста (2002 и 2003 годов происхождения) в свете стабильности коэффициента упитанности объясняет степень их активности репродуктивной функции. Следовательно, молодое поколение (17 и 18 лет) самок веслоноса более адаптировано, а развитие репродуктивной функции менее подвержено стрессовым факторам в период созревания.

### **3.4. Рыбоводные показатели репродуктивной функции самок веслоноса**

Одной из основных целей в аквакультуре ценных видов рыб является получение дорогостоящей икры, поэтому очень важно изучение репродуктивной функции самок веслоноса. Для оценки состояния репродуктивной функции исследовались рыбоводно-биологические показатели: возраст первого созревания, масса самок, плодовитость, количество созреваний, межнерестовый цикл и т. д. (Zigler, 2009).

#### **3.4.1. Оценка репродуктивной функции самок веслоноса, отдавших икру в пищевых целях**

Все исследуемые самки веслоноса в 2020 году условно были разделены на 4 возрастные группы. Полученные результаты: возраст 1-го созревания (лет), масса самок до и после изъятия икры (кг), масса полученной икры (кг), прирост массы рыб за 1 год нагула (кг), количество созреваний, межнерестовый интервал (лет), и выход икры (%), – показаны в таблице 10.

В настоящее время в ремонтно-маточном стаде НЭКА «БИОС» содержатся 115 половозрелых самок веслоноса. В 2020 году из 63 созревших самок веслоноса 53 особи использовались с целью употребления ее в пищу. От 37 самок, или около 59 % от общего количества, успешно была получена икра прижизненным методом. Все особи, участвовавшие в нересте, неоднократно созрели, за исключением 4-й группы (2004 года).

Таблица 10

Рыбоводные-биоогические показатели производителей веслоноса при получении икры в 2020 году (РМС 2020 года)

Показатели	Возрастные группы рыб				Ср. Значение
	1997	2002	2003	2004	
Возраст созревания самок веслоноса, лет	23	18	17	16	18,5
Масса до получения икры, кг	16,28±0,49	15,97±1,23	13,82±0,48	15,7±0,68	15,44±0,72
Масса после получения икры, кг	13,96±0,47	13,72±1,01	11,83±0,32	13,08±0,5	13,15±0,58
Прирост за 1 год, нагула кг	2,32±0,16	2,25±0,29	1,99±0,21	2,62±0,7	2,3±0,34
Количество полученной икры, кг (min-max)	1,63±0,15 (0,2–2,8)	1,76±0,35 (1,1–2,9)	1,55±0,1 (1,0–2,1)	1,54±0,25 (1,1–2,5)	1,62±0,21
Возраст первого созревания, лет (min-max)	18,96±0,49 (15–23)	13,17±0,65 (13–14)	13,71±0,62 (9–17)	16	15,46±0,44
Количество созреваний (min-max)	2±0,24 (1–6)	2±0,21 (2–3)	2±0,22 (1–4)	1	2±0,22
Межнерестовые периоды, лет (min-max)	4±0,23 (0–4)	4±0,01 (4)	3±0,33 (0–4)	–	3±0,19
Выход икры от массы тела, %	10±1	11±2	11±1	10±1	11±1

Анализ рыбоводно-биологических показателей самой многочисленной группы самок веслоноса (1-я группа, 17 особей, 1997 года рождения, возраст первого созревания – 23 года) показал, что разброс показателей выхода икры был незначительным и среднее значение составляло  $10,9 \pm 1,0$  %, т. е. в пределах нормы (рис. 8). Изменения массы рыбы до и после нереста регистрировались на индивидуальном уровне, и средние значения их составляли до  $16,28 \pm 0,49$  и после  $13,96 \pm 0,47$  кг. Темпы их прироста за период нереста 2020 года соответствовали общему среднему значению ( $2,30 \pm 0,34$  кг).

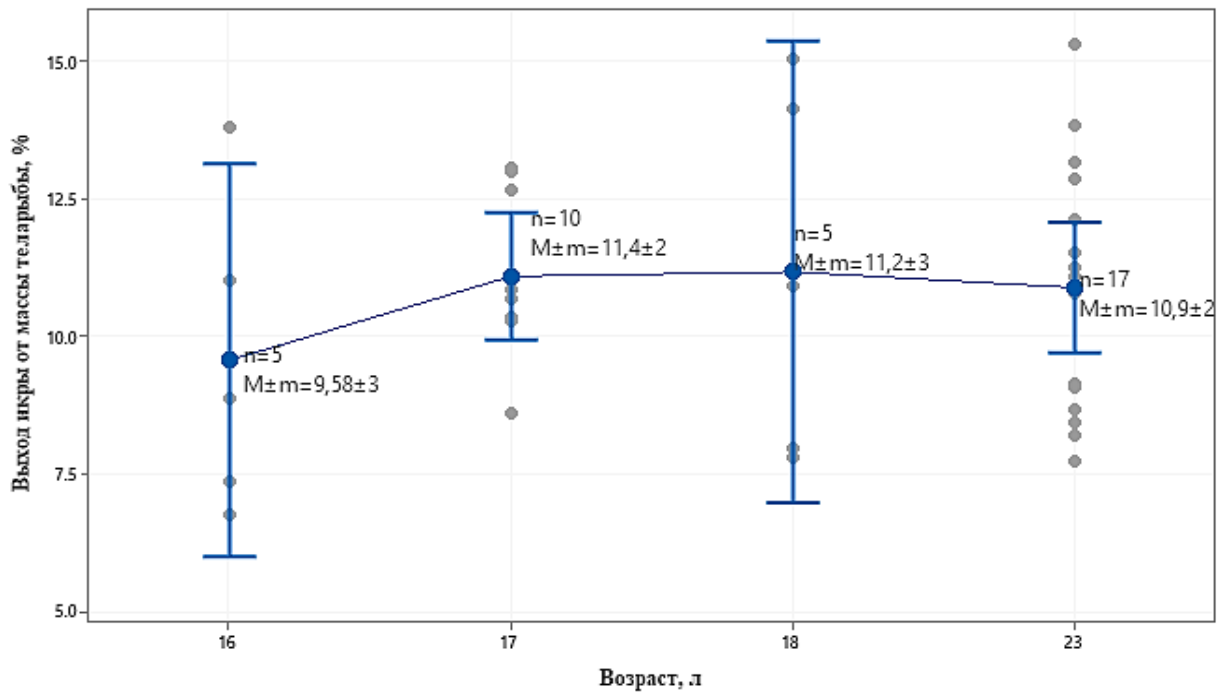


Рисунок 8. Выход икры в пищевых целях в зависимости от возраста производителей веслоноса в течение нерестового сезона 2020 года

Возраст достижения половой зрелости (21–23 года) у этой группы оказался намного выше, чем у самок веслоноса природного происхождения (10–12 лет). Из 17-ти исследованных самок только две созрели в 4-й и 6-й раз, остальные – во второй раз. Межнерестовые периоды самок были различны – от 1 до 4 лет, в среднем – 1,6 года. Самка веслоноса, отдавшая икру в 6-й раз, имела межнерестовые интервалы в 1 и 2 года, в то время как самки, у которых забор икры производился дважды, имели межнерестовые периоды 4 года. Полученные данные по продолжительности репродуктивного цикла у самок веслоноса согласуются с данными североамериканских ученых (Purkett, 1961).

Стоит отметить, что соматический рост особей этой группы в пересчете на массу икры в соотношении к массе тела колеблется в пределах 11–13 % при среднем весе самок  $16,28 \pm 0,49$  кг, и только у двух особей выход икры составил 14–15 % и при массе 19–20 кг. Следует отметить, что эти значения оказались почти в 2 раза меньше по сравнению самками веслоноса из естественного ареала обитания – для них выход икры обычно составляет 15–25 % при массе тела от 14 до 25 кг (Carlander, 1969; Purkett, 1961), т. е. в 1,5 раза меньше, чем было получено Е. А. Мельченковым в условиях юга России (Васильева и др.,

2020а). Возможно, что причина такого снижения выхода икры в условиях аквакультуры заключается в превалировании пластического обмена в организме рыб при постоянной обеспеченности пищей. Однако окончательный вывод может быть сделан только после проведения дополнительных биохимических исследований.

Анализируя рыбоводные показатели пяти самок веслоноса 2002 года рождения, следует отметить, что возраст их первого вступления в репродуктивный период жизни составил 13 и 14 лет, т. е. на 2–7 лет раньше, чем у особей 1997 года рождения (табл. 10). Самки этой группы не очень отличались по темпам роста:  $2,25 \pm 0,29$  кг в течение рыбоводного сезона 2020 года, при этом средний показатель по всем группам составлял  $2,3 \pm 0,34$  кг. Все рыбы повторно созрели во 2-й раз и только одна рыба созрела 3-й раз при продолжительности межнерестового интервала 4 года.

Среднее значение массы тела самок веслоноса 2002 года рождения (16 кг) оказалось меньше, чем у самок 1997 года. Кроме того, средняя масса полученной от этих самок икры составляла 1,8 кг, что несколько выше среднего значения для рыб 1997 года. Только у двух рыб выход икры соответствовал североамериканскому веслоносу – около 15 %, в то время как у остальных рыб этот показатель был меньше – около 10–11 %. Количество созреваний не является определяющим фактором для объема выхода икры. Установить определенную закономерность показателя выхода икры от самок веслоноса не представляется возможным и, очевидно, объясняется индивидуальными особенностями самок веслоноса.

Группа рыб, родившихся в 2003 году (десять самок), продемонстрировала отличия от остальных возрастных групп. Результаты рыбоводных показателей показали, что особи этой группы впервые вступили в стадию половой зрелости в среднем в 13 лет, а отдельные особи – в возрасте 9 лет (рис. 9), тем самым превзойдя группу 1997 года.



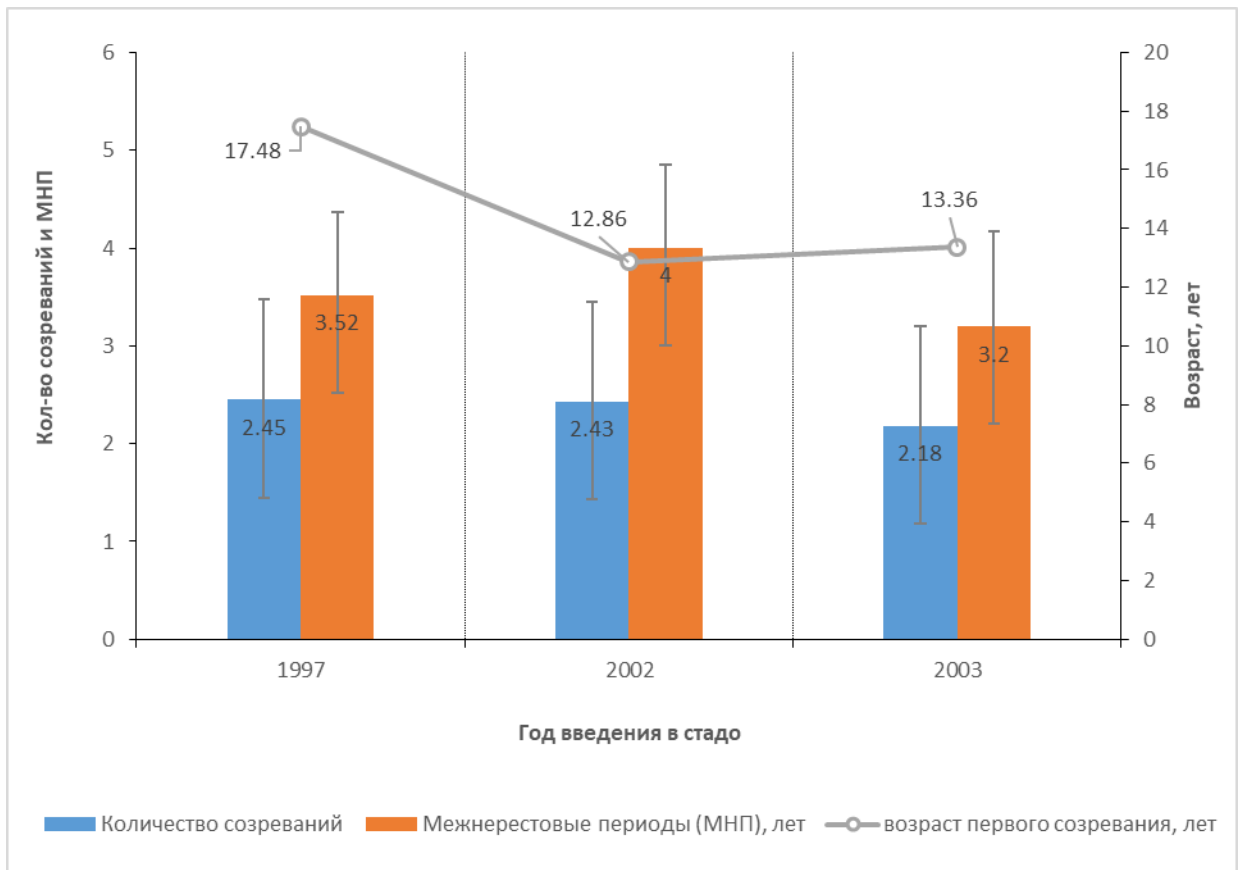


Рисунок 9. Зависимость межнерестовых периодов и количество созреваний от возраста первого созревания самок веслоноса

Следует отметить, что темпы их прироста были невысокими и составляли в среднем  $1,99 \pm 0,21$  из-за снижения среднего веса рыбы (примерно на  $13,82 \pm 0,48$ ), что на 2 кг меньше по сравнению с другими группами. С другой стороны, масса полученной икры существенно не отличалась и составила около  $1,55 \pm 0,10$ . Количество созреваний самок веслоноса имело большой разброс (от 1-го до 4-х раз), так же как и межнерестового периода (0–2 года).

В четвертой группе (2004 год рождения) было 5 самок, или около 13,5 % от общего числа рыб, их возраст составил 16 лет. Количество полученной икры от этих самок было невысоким – около 1,54 кг при массе рыб более 16 кг, что не соответствует достигаемым результатам в естественной среде обитания в Америке (Purkett, 1961). Но при этом установлены довольно высокие темпы роста – в среднем 2,62 кг за нагульный период. Все пять особей созрели один раз в 16 лет, что хотя и позже, чем у рыб из природной среды (10–12 лет), но раньше всех остальных трех исследуемых групп, в которых самки достигали половой зрелости в 23, 18 и 17 лет соответственно.

Таким образом, у 4-й группы самок веслоноса не отмечалась высокая плодовитость репродуктивной функции, несмотря на то, что возраст первого созревания был самым ранним среди всех групп. Согласно Finch (1994), не установлено никаких физиологических и репродуктивных показателей для оценки частоты нереста в зависимости от возраста первого созревания. Кроме того, Scarnecchia et al. (2007) указывали на целесообразность получения дополнительной информации в отношении популяций рыб, связанной с их индивидуальным развитием, особенно самок, такой как возраст зрелости, размерный диморфизм, физиологические характеристики и поведенческие привычки в зависимости от среды выращивания. Все вышеперечисленное важно для понимания количества созреваний рыб, в частности, веслоноса, в течение всей их жизни. В попытке заполнить этот пробел в работе были зафиксированы новые результаты: доказано существование обратных корреляций между количеством созреваний и возрастом первого созревания. Наши результаты совпали с теми, что были получены на веслоносах, обитавших в реках Алабамы (США). Так, в выводах таких исследований упоминалось, что различия в массе тела частично обусловлены дифференцированным ростом, а также влиянием созревания самок в более молодом возрасте при меньшем размере (Lein, Devries, 1998).

Результаты показали, что существует высокая положительная корреляция между массой тела и количеством полученной икры ( $r = 77,75$ ,  $P\text{-value} < 0,0001$ ). В то время как отрицательная корреляция отмечалась между количеством созреваний и возрастом первого созревания на уровне значения альфа 0,05 ( $r = -39,26$ ,  $P = 0,039$ ), что было продемонстрировано самками четвертой группы. Корреляции между остальными рыбоводно-биологическими показателями не было выявлено (табл. 11, рис. 10). Это означает, что межнерестовые периоды не зависят от других параметров, характеризующих репродуктивную функцию.

Таблица 11

Матрица соответствия коэффициентов корреляции и регрессии между рыбоводно-биологическими показателями самок веслоноса при получении икры для пищевых целей в 2020 г.

Показатели	Кол-во полученной икры, кг	Масса рыбы, кг	Межнерестовые периоды, лет	Возраст первого созревания, лет	Кол-во созреваний, раз
Количество полученной икры, кг		77,75***	12,62 <sup>нз</sup>	-8,27 <sup>нз</sup>	0,68 <sup>нз</sup>
Масса рыбы, кг	60,45		17,36 <sup>нз</sup>	7,46 <sup>нз</sup>	18,48 <sup>нз</sup>
Межнерестовые периоды, лет	1,59	3,01		-33,30 <sup>нз</sup>	28,28 <sup>нз</sup>
Возраст первого созревания, лет	0,68	0,56	11,09		-39,26*
Количество созреваний, раз	0,00	3,41	8,00	15,42	

Примечание: зеленые значения – коэффициент корреляции (%), красные значения – коэффициент регрессии (%); значения, выделенные жирным шрифтом, отличаются от 0 с уровнем значимости альфа = 0,05; \*корреляция значима на уровне 0,05 (двусторонний); \*\*корреляция значима на уровне 0,01 (двусторонняя); \*\*\*корреляция значима на уровне 0,001 (двусторонняя); незначительный – нз.

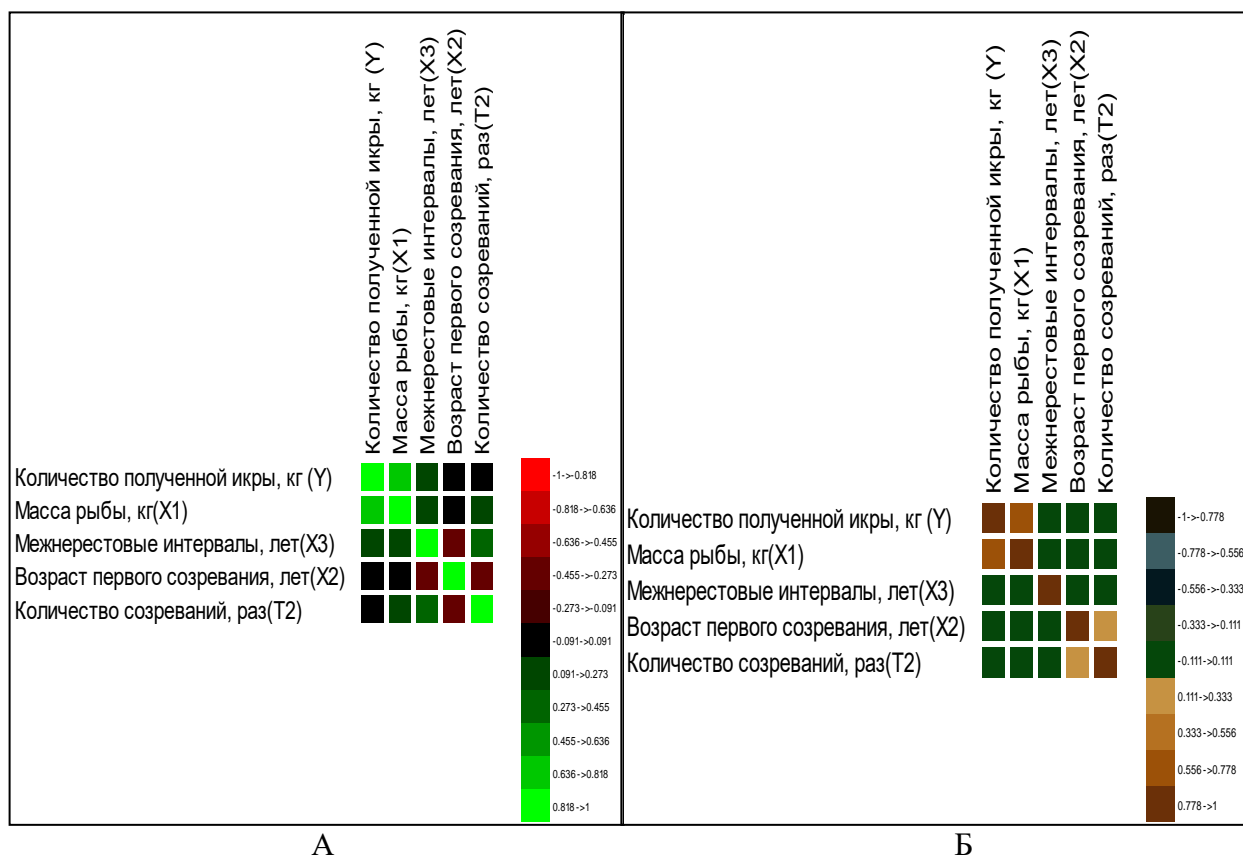


Рисунок 10. Изображения матрицы коэффициентов регрессии и корреляции: А –  $r$ -значения коэффициентов корреляции; Б – коэффициенты детерминации между параметрами

С учетом результатов матрицы регрессии (рис. 10) внимание было уделено количеству полученной икры как фактору ответа, зависящему от объясняющих переменных в рамках множественной линейной модели, таких как масса рыбы ( $R^2 = 60,45 \%$ ), межнерестовые интервалы ( $R^2 = 2 \%$ ) и возраста первого созревания ( $R^2 = 0,68 \%$ ), с фиксированным количеством созреваний в качестве категориального фактора.

Результаты, представленные в таблице 11, показали, что существует тесно связанная зависимость между массой тела производителей веслоноса и количеством полученной икры, которая выражает уровень фертильности самок. Кроме того, возраст 1-го созревания оказал большое влияние на количество созреваний ( $R^2 = 15,42 \%$ ) и, так как, выход икры полученной требуется два года, необходимые для развития ткани яичников (Zigler 2009). Поскольку известно, что у веслоноса синхронные яичники (Виноградов и др., 2003), следовательно, происходил многократный нерест у рыб, что согласуется с материалами Zelazowska et al. (2010). Несмотря на существующие обзоры американской литературы о важности исследований межнерестовых периодов у рыб в оценке эффективности процесса нереста, в данной работе проследить это не представилось возможным из-за недостаточной изученности самок веслоноса.

### **3.4.2. Характеристика репродуктивной функции самок веслоноса, отдавших икру для рыбоводных целей**

В сезон 2020 года репродуктивную функцию самок веслоноса, отдавших икру в рыбоводных целях, оценивали по показателям: масса рыб и возраст достижения половой зрелости, межнерестовые периоды, выход икры, абсолютная и относительная плодовитость, проценты оплодотворения и выхода личинок и др. (табл. 12). Исследовались рыбы только трех групп, т. к. от особи 2004 года рождения не отдали икру.

Таблица 12

Рыбоводные-биоогические параметры производителей самок веслоноса при получении икры в рыбоводных целях в 2020 году (РМС 2020 года)

№ самки	Возрастные группы рыб	Кол-во созреваний	Масса самок, кг	Наибольшая длина, L, см	Длина до развилки, l, см	Масса икры, кг (Выход икры, %)	Кол-во икринок		Оплодотворяемость икры, %	Рабочая плодовитость, тыс. шт.	Кол-во личинок	
							В 1 г, шт.	тыс. шт.			Кол-во личинок, тыс. шт.	Выход личинок, %
1	1-я группа группа (1997)	3	11,2	131	121	1,1 (9,8)	114	125	86,5	108	66	60,5
2		1	15,3	144	135	3 (19,6)	114	342	81,6	279	140	50,2
3		1	15,5	146	134	1,5 (9,7)	111	167	95	158	99	62,6
4	2-я группа группа (2002)	2	13,3	136	127	1,5 (10,9)	112	162	64	104	42	40,8
5		5	17,4	155	141	1,7 (9,7)	113	191	92,5	177	110	62,5
6	3-я группа группа (2003)	2	13,5	138	127	1,7 (12,4)	114	192	92	176	113	64,4
7		1	14,2	145	130	1,6 (11,3)	112	180	84,5	152	84	55,1
8		2	12,3	130	119	1,4 (11,7)	113	163	72,1	117	57	48,2
9		1	14,1	144	132	1,2 (8,5)	110	132	95	125	75	60,1
Средние значения одной самки			14,1	141	129,6	14,7 (11,5)	113	184	84,8	155	87	56
Итого			126,8	1269	1166	1,6	1013	1654	-	1398	787	504

В год исследования две особи достигли половой зрелости в 1-й раз в возрасте 23 года, и одна – в возрасте 17 лет. Остальные самки созревали несколько раз, возраст их 1-го созревания был различным: раннеспелыми оказались две особи в 10 лет, две рыбы созрели в среднем возрасте – 13–14 лет – и одна достигла зрелости поздно – в 20 лет. Масса рыб изменялась в широком диапазоне – от 11,2 до 17,4 кг – при среднем значении 14,1 кг. Причём наименьшая масса отмечалась у рыбы, созревшей в 3-й раз, а первое ее созревание наступило довольно поздно – в 20 лет; наибольшая масса (17,4 кг) была у самки, пятикратно созревшей в прудах при первом созревании в 10 лет. Межнерестовый период у особей в группах составлял от 2 до 4 лет, тогда как у самок № 1 и 9 повторное созревание наступило через 2 года. В то же время самки № 5 и 6 повторно созрели через 3 года, но максимальный период в 4 года был зафиксирован для самок № 4 и 6.

Для оценки влияния межнерестового интервала на эффективность формирования репродуктивной функции самок необходимо, чтобы количество рыб с коротким межнерестовым периодом (два года) было меньше, чем с продолжительным (3–5 лет). Полученные нами результаты взаимосвязи между предрасположенностью самок к успешному вступлению в нерестовый режим и продолжительностью межнерестового интервала противоречат указанному выше положению (Scarnecchia et al., 2007), хотя отдельные особи придерживаются такого подхода. На рисунке 11 показаны возраст первого созревания, межнерестовый период и возраст самок при получении икры в 2020 году для трех исследуемых групп веслоноса.

Анализ полученных результатов показал, что не установлена корреляция между массой тела рыбы и остальными рыбоводными показателями. Отсутствует взаимодействие между этими показателями, поскольку каждая особь имеет уникальную историю роста, развития и созревания, но, тем не менее, наблюдалась обратная корреляция между количеством созреваний и возрастом достижения первой зрелости ( $r = -0,729$ ,  $P = 0,026$ ).

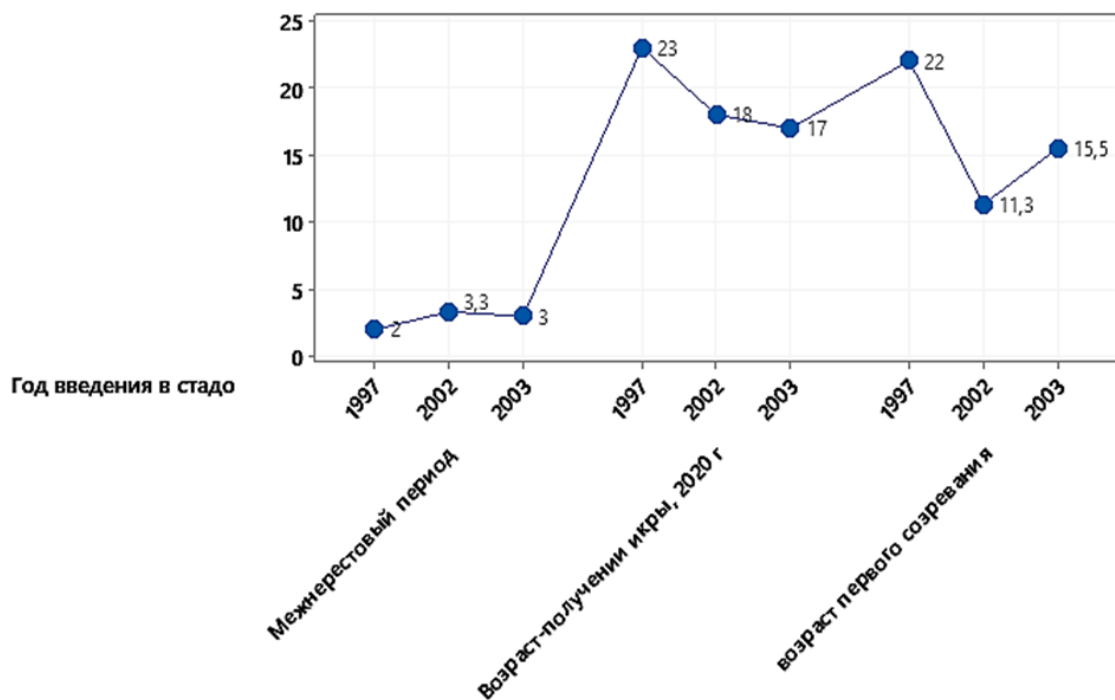


Рисунок 11. Сравнительная оценка воспроизводимости показателей самок веслоноса по возрастным группам для целей рыбоводства, РМС 2020 года

Были обнаружены большие различия плодовитости самок веслоноса. Всего было получено 14,67 кг икры, что составило 1 653,8 тыс. ооцитов, общая рабочая плодовитость – 1 398 тыс. шт. Среднее значение массы полученной икры от одной самки – 1,63 кг, выход икры в среднем составил 11,5 %. Полученные ооциты были довольно мелкими, в среднем в 1 г насчитывалось 113 шт., у разных самок отличия несущественны.

Среднее значение показателя выхода икры у половозрелых самок в период нереста 2020 года составило 13 % (масса икры / масса тела рыбы – 1,87 кг / 14 кг) для старых производителей (23 года); снизилось и оставалось стабильным на уровне 11 % при соотношении 1,61 / 1,42, 14,3 / 13,5 кг для двух других возрастных групп производителей среднего возраста (17–18 лет). Результаты представлены на рисунке 12.

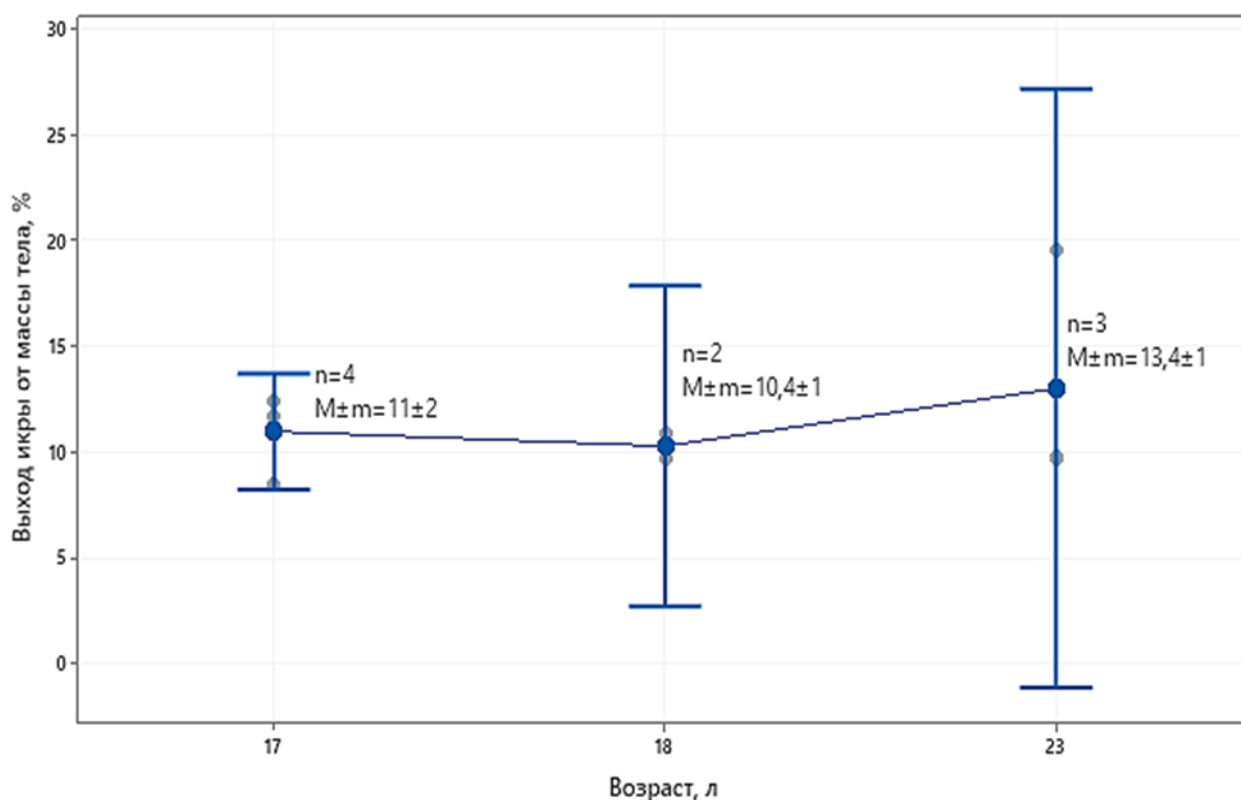


Рисунок 12. Выход икры для рыболовных целей в зависимости от возраста производителей веслоноса в течение нерестового сезона 2020 года

В индивидуальном случае самка № 9, достигшая половой зрелости в 15 лет и отдавшая икру во второй раз, показала выход икры в объеме 8,5 %, что

намного меньше среднего значения, а выход икры у самки № 2 (23 года) превысил 20 %. Эти результаты подтверждают предположение, согласно которому самки старшего возраста имеют высокий коэффициент фертильности (Scarnecchia et al., 2007; Козлов, 1998).

О рыбоводном качестве икры судили по проценту оплодотворения. Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительном состоянии половых продуктов, так в среднем оплодотворение составило 84,8 %; наилучшие же результаты (выше 90 %) были получены у самок № 3, 5, 6, и 9, а особь № 4, дважды созревшая, имела самый низкий процент оплодотворения икры – 64 %. Развитие икры, оценённое по проценту выхода личинок, в среднем составило 56 %, при этом данный показатель для самок № 1, 3, 5, 6, и 9 был выше среднего (свыше 60 %), в то время как икра, полученная от самки № 4 имела очень низкий процент развития (40,8 %).

Из вышеотмеченного следует, что возраст первого созревания сильно коррелирует с количеством созреваний. В соответствии с этим средние значения выхода икры у раннесозревающих самок веслоноса в первый нерест составили 11,1 % (3,47 / 15,5). В то же время у рыб среднего возраста (13–17 лет), дважды нерестившихся, этот индекс снизился до 10,6 % (3,37 / 15,5). С другой стороны, высокий показатель выхода икры составлял 13 % у позднеспелых самок (20–23 года) и дважды нерестившихся. В действительности высокий результат по выходу икры характерен для рыб с двухлетней, чем с трехлетней периодичностью. Более длительный и медленный процесс гонадогенеза присущ для самок с меньшей массой, чем для крупных рыб, что согласуется с результатами исследований Hupfeld et al. (2016) на примере веслоноса из внутренних рек Северной Америки (реки Миссисипи и Миссури) и водотоков, прилегающих к Миссури.



### **3.5. Гематологические показатели репродуктивной функции веслоноса**

Физиологическое состояние рыб и степень его изменения, которые вызываются положительными или отрицательными факторами внешнего и внутреннего характера, полнее всего оцениваются показателями крови. (Шленкина и др., 2019). В связи с этим измерение компонентов крови в период нереста является значимым биологическим показателем, который характеризует репродуктивную функцию рыб (Лукьяненко, 1973, 1986).

#### **3.5.1. Гематологические показатели самок веслоноса при получении икры в пищевых целях**

Известно, что корреляция возрастного индекса у рыб тесно связана с уровнем гемоглобина, количеством эритроцитов и сывороточным белком (Алиева и др., 2016а; Демкина и др., 1997; Лукьяненко, 1973, 1986; Сенникова, 2012), поскольку они имеют тенденцию к увеличению с возрастом (Сенникова и др., 2014). Примечательно, что на разных этапах развития веслоноса, особенно в период соматического роста и формирования гонад, когда происходит радикальная перестройка организма, насыщение крови гемоглобином увеличивается по сравнению с другими видами осетрообразных. В этом контексте у более молодых рыб содержание гемоглобина ниже, чем у более старых, а в межнерестовые периоды также снижается (Архангельский, Вихляева, 1999; Сенникова, Докучаева, 2015).

В работе исследовались две группы самок веслоноса в возрасте 23 (8 особей) и 18 лет (5 рыб), созревшие в 2020 году. В. В. Архангельский отмечает тенденцию к более интенсивному увеличению содержания гемоглобина и эритроцитов у веслоносов в период нереста, чем у осетровых, особенно у тех рыб, которые созревали в раннем возрасте. Это положение также подтверждается результатами выполненных исследований. Так, все самки веслоносов 1997 года рождения, отдавших икру в 2020 году, находились

в хорошем физиологическом состоянии, а значения гемоглобина были довольно высокими – около 100 г/л или выше (табл. 13).

Таблица 13

Рыбоводно-гематологические показатели самок веслоноса при получении икры в 2020 году

№ самки	Возраст первого созревания, лет	Кол-во созреваний	МНП	Масса самки, кг	Масса икры, кг	Выход икры, % массы тела	Гемоглобин, г/л	ОСБ, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года)								
1	15	4	4	15,3	1,7	11	100,9	32,8
2	15	3	4	15,4	1,4	9	97,1	21,8
3	19	2	4	19,6	1,7	9	108,7	17,4
4	23	1	–	13,3	1,5	11	75,5	30,6
5	19	2	4	14,2	1,1	8	98,8	11,9
6	19	2	4	20,2	2,8	14	113,3	29,5
7	15	6	1	15,8	1,3	8	112,9	29,5
8	21	2	2	15,4	1,3	8	90,4	14,1
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет)								
9	13	2	4	13,8	1,5	11	97,1	19,6
10	9	4	3	15,3	2,0	13	75,9	16,3
11	13	2	4	16,8	резорб.	–	113,6	31,7
12	15	2	2	14,2	1,8	13	78,7	14,1
13	15	2	2	11,6	1,0	9	81,9	26,2

Самые высокие значения гемоглобина (113,3 г/л) были у самки № 6, которая впервые созрела в возрасте 19 лет и в 2020 году, при втором созревании, дала наибольшее количество икры – 2,9 кг (выход икры – 14 %). Самки веслоноса, которые созревали шесть раз, также имели высокие значения гемоглобина – 112,9 г/л, но давали меньшее количество икры (1,3 кг) и выход икры был наименьшим (8 %).

Среднее содержание белка в сыворотке крови исследуемых самок веслоноса составило 23,45 г/л, самые высокие значения наблюдались у особей № 1 и 4 – 32,8 и 30,6 г/л, самые низкие – у самок № 2 и 3 – 14,1 и 11,9 г/л соответственно, что свидетельствует об отклонении от средних значений.

Обращают на себя внимание низкие показатели выхода икры – среднее значение – 9,8 %, что почти в 2 раза меньше нормы для условий естественной

среды обитания в Америке (15–25 %) и в 1,5 раза ниже нормы для условий юга России (Purkett, 1961; Мельченков, 1992).

Морфометрические показатели (соотношение длины и массы, табл. 14) у исследуемых самок веслоноса были невысокими. Так, в частности, коэффициент упитанности был относительно низким – менее единицы, несмотря на то, что физиологическое состояние исследуемых рыб было удовлетворительным.

Таблица 14

Морфофизиологические параметры веслоноса при получении икры

Статистические показатели	Масса рыб, кг	Длина рыб, см	Коэффициент упитанности по Фультону	Концентрация гемоглобина, г/л	Общий белок в сыворотке крови, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 8$ )					
$M \pm m$	16,15±0,9	144,88±2,1	0,41±0,06	99,7±4,47	23,45±2,9
$\sigma$	2,46	5,94	0,17	12,66	8,21
CV, %	15,2	4,1	41,15	12,69	35,01
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )					
$M \pm m$	14,34±0,9	143,2±2,3	0,45±0,04	89,44±7,06	21,58±3,3
$\sigma$	1,92	5,22	0,09	15,79	7,27
CV, %	13,41	3,64	19,99	17,66	33,7

Физиологическое состояние веслоноса 2002 года рождения также было удовлетворительным, средняя концентрация гемоглобина составила 89,5 г/л, минимальные значения отмечались у особей № 10 и 12 (75,9 и 78,7 г/л), а максимальные (113,6 г/л) – у самки № 11, которая также имела наибольшую массу тела – 16,8 кг. Значения общего белка в сыворотке (ОСБ) крови были невысокими и в среднем составляли 21,6 г/л, что несколько отличается от значений ОСБ самок веслоноса первой группы 1997 года (23,5 г/л), так же как минимальные и максимальные значения. В целом можно отметить, что физиологическое состояние самок веслоноса двух групп не очень отличалось, следовательно, условия содержания рыб в эти годы были идентичными.

Таким образом, результаты выполненных гематологических исследований подтвердили возрастные отличия репродуктивной функции самок веслоноса. Так, старшевозрастные самки веслоноса (23 года) имели массу несколько

больше (свыше 15 кг) и созрели в 15 и 19 лет, их средние показатели крови также были лучше, чем рыбы из второй группы (2002 года). Но при этом показатель выхода икры оказался больше у самок веслоноса, которые достигли половой зрелости раньше, в 18 лет. Гематологические показатели исследованных самок веслоноса свидетельствуют об их удовлетворительном физиологическом состоянии, значительных отличий не обнаружено. Установлено, что самки веслоноса в прудовых условиях Астраханской области достигли половой зрелости позже, выход икры также оказался меньше по сравнению с рыбами из естественного ареала обитания в Северной Америке и акклиматизированных в Краснодарском крае.

Изучение дейкоцитарной формулы крови исследуемых самок веслоноса показало, что все лейкоциты рыб, как обычно, подразделяются на гранулоциты и агранулоциты. Определение лейкоцитарного типов самок веслоноса в двух возрастных группах (23 года и 18 лет) позволило выявить достоверные различия между ними (рис. 13, табл. 15).

Таблица 15

Статистические параметры распределений различных типов лейкоцитов по возрастному созреванию самок веслоноса в период нереста 2020 года

Показатели	Возрастные группы								*Норма для самки осетра%
	1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 8$ )				2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )				
	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	
Нейтрофилы, %	36±2,91	0,82	-1,21	22,86	36±2,59	-0,19	-2,97	16,08	18,25
миелоцит	2,7±0,57	0,71	-0,33	50,85	4,4±1,21	0,18	-0,68	61,41	5,25
метамиелоциты	10,9±1,75	-0,39	-1,17	45,43	14,6±2,54	0,67	0,34	38,93	1,75
палочкоядерные гранулоциты	16,6±1,73	-0,7	-0,2	29,46	10±2,61	0,19	-2,03	58,31	1,0
сегментоядерные гранулоциты	5,4±0,63	0,9	-1,06	32,89	7±1,1	0,17	-1,75	34,99	10,25
Эозинофилы	6,6±1,08	0,59	0,63	46,3	4,4±0,51	0,4	-0,18	25,91	2,25
Моноциты	2,4±0,48	0,73	-0,74	46,69	2,0±0,32	0	2,0	35,36	0,1
Лимфоциты	56±1,96	-0,8	-0,37	9,92	57,6±2,8	-0,44	-1,39	10,88	67,15
Смещение ядра	+								
Агглютинация	+								

Примечание:  $\gamma_1$  – коэффициент асимметрии (Skewness);  $K$  – коэффициент эксцесса (Kurtosis); \*данные М. П. Грушко, О. В. Ложниченко, Н. Н. Федорова «Гемопоз у осетровых рыб» (2009).

Гранулоциты производителей веслоноса представлены эозинофилами и нейтрофилами. Незернистую группу лейкоцитов занимают лимфоциты и моноциты. В анализируемых мазках крови наблюдались молодые формы нейтрофильных гранулоцитов и эозинофилов, что интерпретируется как гиперфункциональный элемент. Напротив, у половозрелых форм были зарегистрированы разные значения уровней палочкоядерных гранулоцитов в двух группах (самки 23 и 18 лет соответственно), что согласуется с литературными источниками, касающимися гематологического профиля рыб на основе возрастной структуры особей (Сенникова и др., 2014).

Это было подтверждено нормальным распределением данных и однородностью дисперсии тестом Skewness – Kurtosis (табл. 15). В целом лейкоциты самок веслоноса в обеих группах показали небольшое положительное асимметричное распределение, которое, как правило, было симметричным относительно медианы (асимметрия =  $0,23 \pm 0,26$ ,  $0,12 \pm 0,12$ ,  $M \pm m$ ). Эксцесс меньше единицы указывает на близость распределения к поверхности (эксцесс =  $-0,56 \pm 0,22$ ,  $-0,83 \pm 0,55$ ,  $M \pm m$ ).

Таким образом, распределение компонентов крови не различается по возрастному составу ( $CV = 35,55$  и  $35,23$  %,  $P < 0,05$ ).

Белая кровь имеет больше лимфоидный характер, ее доминирующими клеточными формами являются лимфоциты, составляющие более половины всех лейкоцитов. У отдельных особей лимфоциты снижены до 41–42 % за счет повышения количества нейтрофильных гранулоцитов. Следует отметить, что более высокий процент лимфоцитов играет важную роль в защите организма от болезней. На фоне благополучной картины в составе белой крови можно проследить заметное увеличение содержания нейтрофилов (в основном это метамиелоциты и палочкоядерные, затем и сегментноядерные формы), основная функция которых – фагоцитарная. Относительная нейтрофилия, возможно, связана с усиленной бактерицидной функцией нейтрофилов, что является иммунной защитой на антигенное раздражение.

Кроме лимфоцитов из агранулоцитов встречались и моноциты, составившие 2–4 % всех лейкоцитов. Среди зернистых лейкоцитов содержание эозинофилов было в пределах 7–4 %. Различные значения уровня палочкоядерные гранулоцитов в обеих группах (23 и 18 лет соответственно), согласуются с литературными данными, в частности, гранулоциты имеют широкий диапазон (Ellis, 1977). Хотя остальные пропорции компонентов лейкоцитов указывают на отсутствие значительных различий в отношении возрастного иммунитета и стабильности, что является ожидаемым из-за воздействия на всех самок в разных возрастных группах одного и того же физиологического стресса в период их нереста, противоречит результатам, опубликованным Сенниковой с соавт. (2014).

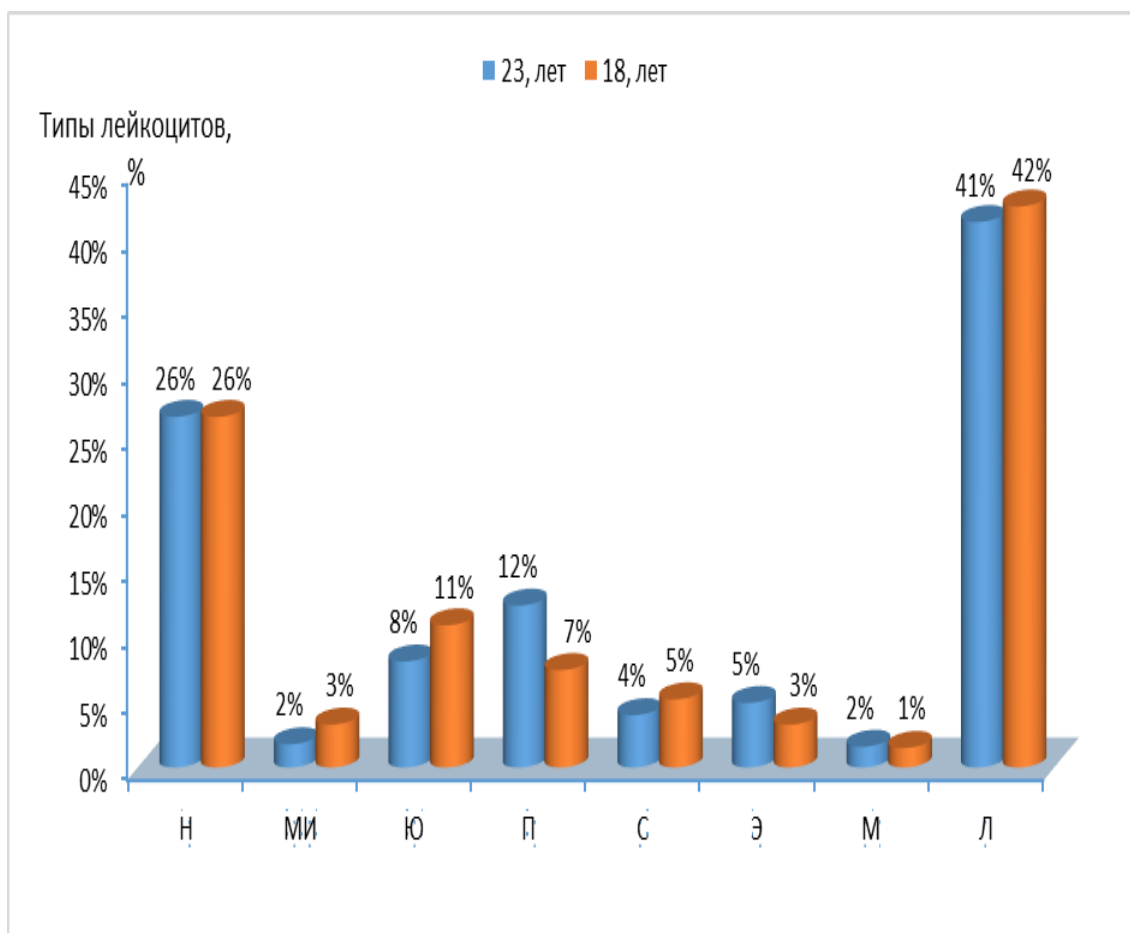


Рисунок 13. Соотношение различных типов лейкоцитов у самок веслоноса: Ю, П, С – юные (метамиелоциты), палочкоядерные и сегментоядерные гранулоциты соответственно; Э – эозинофилы; М – моноциты; Л – лимфоциты; Н – нейтрофилы; МИ – миелоцит

Согласно литературным данным, эндогенные и экзогенные факторы действуют на гематологические показатели так, что доля лейкоцитов резко меняется в период нереста (Ahmed et al., 2020): количество лимфоцитов уменьшается, а количество нейтрофилов увеличивается, что согласуется с данными М. П. Грушко с соавт. «Гемопоз у осетровых рыб» (2009).

Вязкоупругие свойства лейкоцитов показали, что у самок среднего возраста скорость смещения ядер при разделении отдельных компонентов крови (в зависимости от размера частиц) выше, чем у более взрослых рыб. Это объясняет низкие реологические свойства лейкоцитов, которые оказывают значительное влияние на их функции и динамику потока в микроциркуляции. Кроме того, отмечается особенность агглютинации лейкоцитов (WBCs), которая может указывать на иммунологический фактор и служит в качестве индикатора наличия антител против бактерий или эритроцитов (Алиева и др., 2016b; Демкина и др., 1997). Мы предположили, что наличие агглютинации повысит физиологический гомеостаз самок во время их жизненно важной роли в усилении иммунного ответа, особенно после успешного завершения процесса нереста (физиологический стресс), что требует дополнительных усилий по вновь формированию гонад.

### **3.5.2. Гематологические показатели веслоноса при получении икры в рыбоводных целях**

Физиологическое состояние производителей веслоноса, оценённое по гематологическим показателям, играет значительную роль в оценке функции репродуктивной функции для появления новых поколений и обеспечивает устойчивое воспроизводство (Needham, 1965). В связи с этим анализ крови является обязательным биологическим показателем для оценки эффективности самок в период нереста (Кокоза, 2004; Кокоза и др., 2014). Это свидетельствует о том, что показатели крови у производителей рыб могут изменяться в зависимости от возраста 1-го созревания, условий нереста, межнерестового

цикла и др. Однако доказано, что кровь молодых рыб и поздно созревших в первый раз содержит меньше гемоглобина по сравнению с более взрослыми рыбами и созревшими в первый раз в раннем возрасте (Архангельский, 1996, 1998; Сенникова, 2012). Физиологические гомеостатические реакции на состояние тесно связаны с высвобождением эритроцитов (RBCs), концентрацией гемоглобина (Hb) и сывороточного белка, которые увеличиваются с возрастом (Сенникова и др., 2014). Возрастание количества эритроцитов и концентрации гемоглобина увеличивает способность крови переносить кислород во время формирования гонад, вызывая нерест секрецией гормонов в кровотоке.

Результаты исследований значений содержания гемоглобина и сывороточного белка показали, что все самки веслоноса находились в удовлетворительном состоянии (табл. 16). Концентрация гемоглобина у этих особей варьировала в зависимости от возраста. У более взрослых рыб, представленных самками 1997 года рождения, средний уровень гемоглобина составлял приблизительно  $17,68 \pm 2,12$  г/л с индивидуальным изменением от 77,3 до 109,8 г/л.

Таблица 16  
Рыбоводно-гематологические показатели самок веслоноса при получении икры в 2020 году

№ самки	Возраст первого созревания, лет	Кол-во созреваний	МНП	Масса самки, кг	Масса икры, кг	Выход икры, % массы тела	Гемоглобин, г/л	ОСБ, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года)								
1	23	1	–	15,3	3	20	98,8	19,6
2	20	3	2	11,2	1,1	10	109,8	11,9
3	23	1	–	15,5	1,5	10	77,3	17,4
4	23	1	–	13,3	1,5	11	95,3	21,8
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет)								
5	14	2	4	13,5	1,68	12	90,7	26,2
6	18	1	–	14,1	1,2	9	117,2	29,5
7	10	5	3	17,4	1,69	10	126,4	23,8
8	14	2	4	13,3	1,45	11	91,4	20,7
9	10	4	3	18,2	н/о	н/о	100,6	23,8



Самки, созревшие неоднократно, имели высокую концентрацию гемоглобина, например, самка № 2 на уровне 109,8 г/л. В то же время у нее было зафиксировано самое низкое содержание белка в сыворотке крови, и, таким образом, темпы соматического роста и плодовитость также были снижены. Замечено, что масса самки под № 3 составляла 11,2 кг, т. е. была ниже среднего значения (12,83 кг). Можно роедположить, что масса тела рыбы и содержание белка в сыворотке крови связаны с эффективностью воспроизводства, независимо от концентрации гемоглобина, но до тех пор, пока она не опускается ниже  $95,3 \pm 6,75$  г/л. Это подтверждается относительно большим количеством выхода икры, о чём свидетельствуют высокие показатели у особей № 1 и 4 (20–11 %). У самки № 3 концентрация гемоглобина снизилась до 77,3 г/л на фоне высокой массы тела (15,5 кг), и выход икры оказался меньше (10 %).

Вторая группа самок веслоноса 2002 года рождения продемонстрировала значительное разнообразие основных показателей. Большинство из них созревали несколько раз, в среднем четыре, а их межнерестовые периоды составляли около четырех лет, что очень важно для оценки репродуктивной функции наряду с физиологическим статусом. В целом концентрация гемоглобина в крови рыб этой группы достигала  $105,26 \pm 7,12$  г/л, а содержание сывороточного белка протеина –  $24,8 \pm 1,46$  г/л. Стоит отметить, что существует закономерность влияния рыбоводных показателей на выход икры. Так, самки № 5, 7 и 8 созрели несколько раз, и возраст 1-й зрелости был ранним, в среднем 12 лет, межнерестовые периоды – 4 года, а среднее значение массы рыбы – около 14 кг, показатель выхода икры был незначительным (12–11 %), при том, что концентрация гемоглобина была меньше среднего значения. Очевидно, что масса рыбы и концентрация гемоглобина не влияли на репродуктивную функцию. Напротив, возраст 1-й половозрелости, количество периодов нереста и период между нерестами были решающими факторами в определении эффективности репродуктивной функции. Следует отметить, что у самки веслоноса № 6 были зафиксированы высокие концентрации гемоглобина

и сывороточного белка протеина (117,2 и 29,5 г/л), но она впервые созрела в 18 лет и выход икры составил всего 9 %. Содержание гемоглобина, а также уровень содержания сывороточного белка являются основными индикаторами физиологического состояния рыб.

Морфофизиологические показатели, представленные в таблице 17, свидетельствуют о низких параметрах коэффициента упитанности (менее 1), но при этом содержание гемоглобина и ОСБ у двух исследуемых разновозрастных групп были выше средних значений, что указывает на хорошее физиологическое состояние самок веслоноса.

Таблица 17

Морфофизиологические параметры веслоноса при получении икры

Статистические показатели	Масса рыб, кг	Длина рыб, см	Коэффициент упитанности по Фультону	Концентрация гемоглобина, г/л	Общий белок в сыворотке крови, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 4$ )					
$M \pm m$	12,83±0,75	140,25±3,33	0,46±0,01	95,3±6,75	17,68±2,12
$\sigma$	1,51	6,65	0,02	13,5	4,25
CV, %	11,75	4,74	4,78	14,16	24,04
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )					
$M \pm m$	14,14±0,9	144±3,39	0,47±0,02	105,26±7,12	24,8±1,46
$\sigma$	2,02	7,58	0,03	15,93	3,27
CV, %	14,27	5,27	7,16	15,14	13,2

В периферической крови самок веслоноса были выявлены основные клеточные формы: эритроциты, агранулоциты и гранулоциты, согласно «Атласу крови рыб» (Иванова, 1983). При выполнении морфологических исследований красных кровяных телец не было установлено явных патологических изменений. Эритроциты представлены зрелыми формами эритроидного ряда. Чаще всего это клетки эллипсоидного вида с центрально расположенным округлым уплотненным ядром темно-фиолетового цвета, окруженным цитоплазмой бледно-оранжевого цвета. Эритроциты содержат в цитоплазме дыхательный пигмент гемоглобин. Но кроме снабжения организма кислородом и питательными веществами, эритроцитами осуществляется также ряд ферментативных процессов (Элнакиб и др., 2020).

При морфологическом изучении клеток красной крови прослеживаются незначительные их изменения. Относительное увеличение размеров клеток (анизоцитоз) наблюдалось у 13 % рыб. На единичных препаратах было отмечено изменение формы эритроцитов в виде деформации, но это, скорее всего, механическое повреждение при изготовлении мазка, чем пойкилоцитоз. У единичных эритроцитов (в 18 % случаев) наблюдалось слегка заметное смещение ядра к оболочке. Почти у половины особей наблюдается слабая агглютинация эритроцитов. Известно, что подобные изменения клеток эритроидного ряда носят обратимый процесс, если слипание вызвано антигенами вирусной, бактериальной природы или другими веществами, и в дальнейшем эритроциты могут отделяться друг от друга, не повреждаясь.

Таким образом, выполненные гематологические исследования показали, что физиологическое состояние исследованных самок веслоноса можно охарактеризовать как удовлетворительное. Кровь, полученная от самок веслоноса, характеризовалась высоким содержанием гемоглобина, что свидетельствует о хорошей адаптации рыб к новым условиям содержания, а также о значительной выносливости изучаемых самок (Сенникова, 2012; Сенникова и др., 2014).

Анализ мазков крови показал, что у всех самок веслоноса кровь лимфоцитарного характера, т. е. лимфоциты преобладали в количестве лейкоцитов, составляя около или более половины всех лейкоцитов. У отдельных особей лимфоциты были снижены до 44–49 % за счет повышения количества нейтрофильных гранулоцитов. На фоне благополучной картины в составе белой крови можно проследить заметное увеличение содержания нейтрофилов (в большей степени метамиелоциты и палочкоядерные, затем и сегментноядерные формы), представлено 30–26 % лейкоцитов двух возрастных групп, основная функция которых фагоцитарная. Относительная нейтрофилия, возможно, связана с усиленной их бактерицидной функцией, что является иммунной защитой на антигенное раздражение. Можно предположить, что

фагоцитарная активность нейтрофилов у производителей веслоноса выше, чем у осетровых.

Что касается метамиелоцитов и стадии их развития, процентное значение было обратно пропорционально проценту лимфоцитов, который сильнее понижался у позднеспелых рыб (9 %), чем у рыб, созревших в среднем возрасте (11 %). Из гранулоцитарного ряда клеток метамиелоцитов было больше всего у всех исследованных рыб (Modrá et al., 1998). Напротив, пранулоциты и сегментоядерные гранулоциты, эозинофилы и моноциты были выше у самок старшего возраста, чем у самок среднего возраста (23 года – 13 и 6 %, 18 лет – 19 и 12 %). В то же время в обеих группах зафиксированы равные пропорции миелоцитов, эозинофилов и моноцитов. Эти изменения содержания отдельных типов лейкоцитов показаны на рисунке 14.

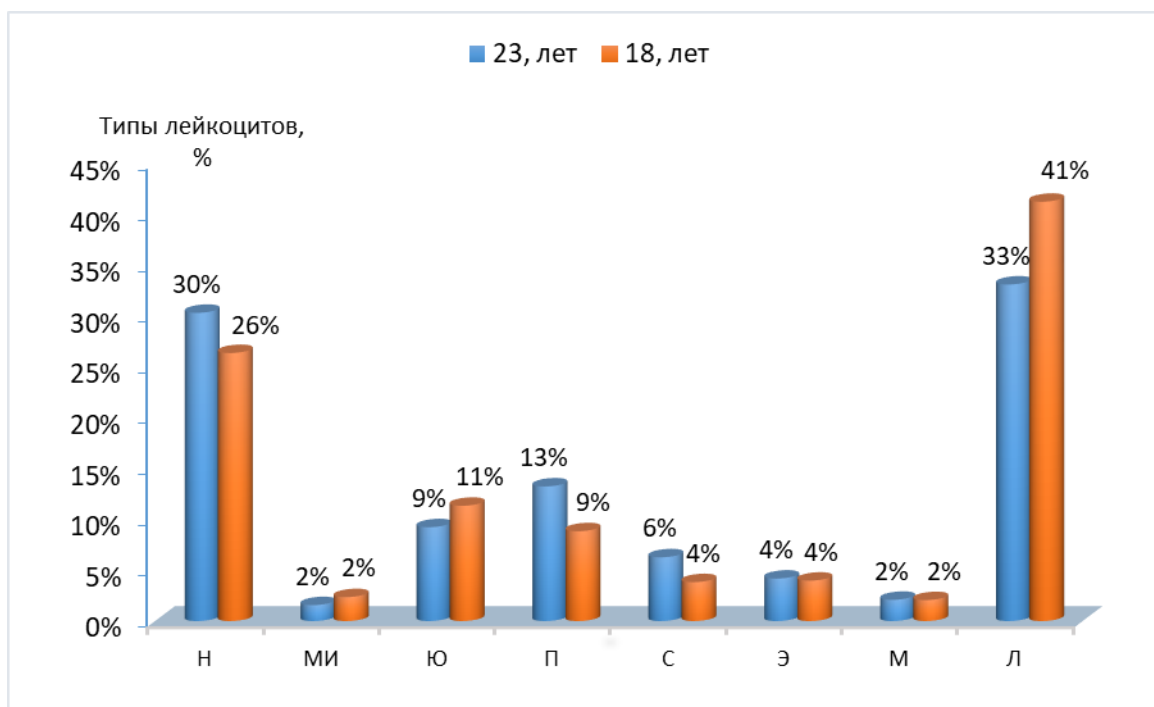


Рисунок 14. Соотношение различных типов лейкоцитов у самок веслоноса: Ю, П, С – юные (метамиелоциты), палочкоядерные пранулоциты и сегментоядерные гранулоциты соответственно; Э – эозинофилы; М – моноциты; Л – лимфоциты; Н – нейтрофилы; МИ – миелоцит

Морфология лимфоцитов и других белых кровяных клеток американского веслоноса сходна с описанной у других видов рыб. Ультраструктура лимфоцитов аналогична сопоставимым клеткам млекопитающих. Согласно

Bullis (1993), дифференциал лейкоцитов у американского веслоноса имел гораздо больший процент моноцитов, чем диапазон от 0 до 4 %, о котором сообщалось для других видов рыб, и более низкий процент гранулоцитов. Наши результаты соответствуют результатам, упоминаемым в обзорах американской литературы (Petrie-Hanson, Peterman, 2005).

Для изучения гематологического профиля рыб было выполнено исследование однородности дисперсии с учетом их колебаний на основе возрастной структуры рыб, как было предложено Сенниковой с соавт. (2014). Результаты были продемонстрированы с помощью теста Skewness – Kurtosis и представлены в таблице 18.

Таблица 18

Статистические параметры распределений различных типов лейкоцитов по возрасту созревания самок веслоноса в период нереста, 2020 год

Показатели	Возрастные группы								*Норма для самки осетра%
	1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 4$ )				2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )				
	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	
Нейтрофилы, %	43,5±0,87	0	-6	3,98	35,8±3,7 1	0,36	-1,05	23,15	18,25
миелоцит	2,25±0,48	-0,85	-1,29	42,55	3,2±0,37	-0,51	-0,61	26,15	5,25
метамиелоциты	13,25±1,7	1,2	1,98	25,69	15,4±2,04	-0,48	-2,9	29,61	1,75
палочкоядерные гранулоциты	19±2,58	0	-1,2	27,18	12±1,45	-0,73	2	27	1,0
сегментоядерные гранулоциты	9±1,78	1,33	1,5	39,54	5,2±1,16	0,5	0,8	49,78	10,25
Эозинофилы	6±0	-	-	0	5,4±0,87	0,08	-0,82	36,10	2,25
Моноциты	3±0,71	1,41	1,5	47,14	2,8±0,49	0,61	-3,33	39,12	0,1
Лимфоциты	47,5±1,32	-0,86	-0,29	5,57	56±4,12	0,1	-1,36	16,46	67,15
Смещение ядра	+								
Агглютинация	+				+				

Примечание:  $\gamma_1$  – коэффициент асимметрии (Skewness);  $K$  – коэффициент эксцесса (Kurtosis); \*данные М. П. Грушко, О. В. Ложниченко, Н. Н. Федорова «Гемопоз у осетровых рыб» А. ООО ПКФ «Триада» (2009).

В работе наблюдалось слегка положительное асимметричное распределение лейкоцитов маточной стадии веслоноса для обеих групп, по-видимому, симметрично близкое к медиане (асимметрия =  $0,32 \pm 0,38$  и  $-0,01 \pm 0,18$ ). Распределение эксцесса означает, что данные имеют тенденцию быть распределенными вокруг медианы в положительном и отрицательном направлении (эксцесс =  $-0,56 \pm 1,04$  и  $-0,91 \pm 0,62$ ).

Из-за недостаточности информации по состоянию лейкоцитарной формуле крови самок веслоноса для сравнения использовали морфологическую картину русского осетра, которая в определённой степени имеет схожесть. Согласно данным Подушки (2008), у самок русского осетра удельный вес лимфоцитов в лейкограмме колебался обратно пропорционально с удельных весов нейтрофилов, что отмечается и у самок веслоноса, особенно это наглядно прослеживается в 1-й возрастной группе. Следует отметить, что количество моноцитов было на порядок, а эозинофилов в 3 раза больше, чем у самок осетра. Результаты, полученные рядом исследователей (Грушко, 2009; Иванова, 1983; Подушка, 1999), в целом подтверждают тенденции в изменении данных крови в онтогенезе, характерные для рыб. Но, безусловно, необходимо выполнить дополнительные исследования дифференциального количества лейкоцитов для разного возраста веслоноса в разное время нереста.

Таким образом, распределение компонентов лейкоцитов незначительно отличалось в зависимости от возрастного состава ( $CV = 23,96$  и  $30,92$  %,  $P < 0,05$ , для 23 и 18 лет соответственно). Вязкоупругие свойства лейкоцитов, а также свойства агглютинации клеток были отмечены при разделении отдельных компонентов крови. Результаты показали, что у молодых самок более высокая скорость смещения ядер, чем у особей старшего возраста, что указывает на низкие реологические характеристики лейкоцитов.

### 3.6. Математические расчёты зависимости количества полученной икры и плодовитости самок веслоноса от морфометрических показателей

Результаты морфометрических показателей: масса, длина и возраст первого созревания рыб, – были обобщены, проанализированы для разработки модели прогнозирования Количество полученной икры и абсолютной плодовитости самок веслоноса исследовались с использованием программы (DataFit, версия 9). Для разработки математической модели зависимости выхода икры в пищевых целях были применены критерии возраста 1-го созревания и массы рыб, а для рыбоводных – массы и длины самок веслоноса.

#### 3.6.1. Расчёт количества полученной икры в пищевых целях

Оценка потенциальной возможности репродуктивной функции самок рыб для определения количества икры, полученной в пищевых целях, являются одним из основных вопросов в биологическом управлении плодовитости производителей. Из всех самок веслоноса были отобраны и сформированы две группы рыб: первая (22 особи) – неоднократно получали икру и вторая (6 рыб) – единожды, причем учитывалась положительная корреляция по таким показателям, как возраст 1-го созревания и масса рыб. Сводная статистика моделей прогноза представлена в таблице 19.

Таблица 19

Сводная статистика моделей прогноза для оценки количества полученной икры в двух возрастных группах самок веслоноса в нерестовый сезон 2020 года

Качество подгонки моделей	Модель 1	Модель 2
Количество самок	22	6
Сумма остатков	0,073	1,57E-13
Средний остаток	0,033	2,61E-14
Остаточная сумма квадратов ( $RSS$ )	1,48	0,01
Стандартная ошибка оценки	0,28	0,07
Коэффициент детерминации ( $R^2$ )	0,71	0,99
Скорректированный ( $Ra^2$ )	0,68	0,98
Durbin-Watson statistic	1,75	3,04

Примечание: дисперсионный анализ (ANOVA) в модели прогнозирования 1: степени свободы ( $df = 2$ ), сумма квадратов ( $SS = 3,7$ ), средний квадрат ( $MS = 1,9$ ),  $F = 23,7$  и  $Pr > F (< 0,0001)$ ; модель 2:  $df = 3$ ,  $SS = 1,4$ ,  $MS = 0,5$ ,  $F = 100,9$  и  $Pr > F = 0,0098$ .

К указанным группам была применена прогнозная оценка эффективности нереста самок веслоноса по показателям возраста 1-го созревания и массы рыб. Уравнение прогнозирования для 1-й группы неоднократно созревших самок веслоноса, отображающее выходные данные индикатора «количество полученной икры» в зависимости от оценки сезона нереста ( $R^2 = 71\%$ ), модели статистического анализа представлена формулой:

$$Y = 0,88 \times (1,11)^{X_1} \times (X_2)^{-0,37}, \quad (9)$$

где  $Y$  – количество полученной икры, кг;

$X_1$  – масса рыбы до получения икры, кг;

$X_2$  – возраст 1-го созревания, лет.

Эта модель выявляет стабильную закономерность между возрастом при 1-м созревании и массой рыбы, при этом самки, впервые созревающие в среднем возрасте 16 лет и старше и массой свыше 20 кг., имеют наибольший выход икры, что объясняет превосходство особей, которые представлены в трех группах (1997, 2002 и 2003 годов происхождения), по сравнению с самками веслоноса, созревшими в группе 2004 года.

Для нелинейной модели прогнозирования 2 единожды созревших самок веслоноса были получены интересные результаты ( $R^2 = 99\%$ ):

$$Y = 0,27 \times X_1 + 2,07 \times X_2 - (0,05 \times X_2)^2 - 22,22, \quad (10)$$

где  $Y$  – количество полученной икры, кг;

$X_1$  – масса рыбы до получения икры, кг;

$X_2$  – возраст 1-го созревания, лет.

Данная модель показала, что самки веслоноса, впервые созревшие в среднем возрасте (16–20 лет), не отдавали больше икры, чем рыбы, созревшие в раннем или более позднем возрасте (12 и 23 года).

Трехмерный график показал, что индикатор «количество полученной икры» был увеличен в 1-й группе в результате увеличения обоих ( $X_1$ ,  $X_2$ ) одинаково. При этом наибольший выход икры наблюдается у самок веслоноса из 2-й группы, которые впервые созревали в раннем возрасте и имели массу ниже 18 кг (рис. 15).



Согласно результатам статистики Durbin Watson, в модели 1 значение (менее 2) указывает на то, что индикатор «количество полученной икры» отображает положительную автокорреляцию между рыбами, нерестившимися несколько раз в первых трех возрастных группах (1997, 2002 и 2003 годов), поэтому показатели массы рыбы и возраст 1-го созревания изменялись в одном направлении, независимо от того, увеличивались или уменьшались. С другой стороны, в модели 2 при статистическом показателе Durbin Watson (выше 2) индикатор «количество полученной икры» имеет отрицательную автокорреляцию (обратную зависимость) между рыбами, нерестящимися впервые, в частности, четвертой возрастной группе (2004 года). Полагаем, данный анализ полезен для понимания взаимосвязи влияния двух независимых переменных на выход икры.

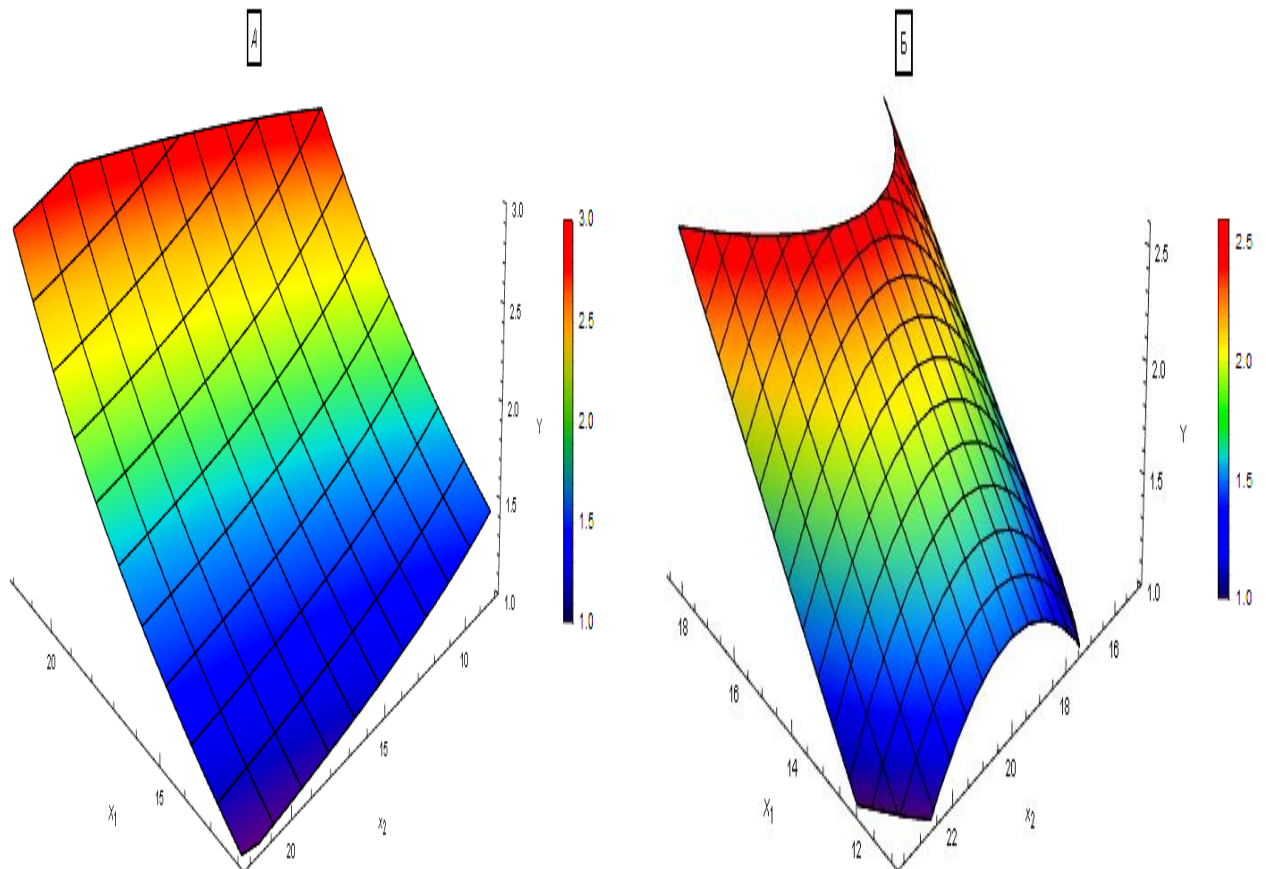


Рисунок 15. 3D-график при помощи цветов разной насыщенности иллюстрирует значения индикатора «количество полученной икры» (в кг, от темно-синего цвета – для низкого значения – до ярко-красного – для высокого значения) прогнозной модели (с использованием программы DataFit версии 9)

Выполнение нелинейной регрессии (аппроксимация кривой) для двух входных параметров двух независимых факторов ( $X_1$  – масса рыбы, кг, и  $X_2$  – возраст первого созревания, лет) показал, что прогноз «количество полученной икры» от самок веслоноса из 1-й группы (А) увеличивается с 2,6 до 2,8 кг, при этом масса рыб возрасла более чем на 19 кг, а возраст 1-го созревания – старше 15 лет. Количество полученной икры от рыб 2-й группы (Б), нерестившихся однократно, показывали результаты в основном в зависимости от возраста достижения половой зрелости. Наилучшее количество икры было получено от особей массой более 17 кг, достигших 1-го созревания меньше 18 и старше 21 года.

### **3.6.2. Рсчёт плодовитости самок веслоноса, отдавших икру в рыбоводных целях**

Получены доказательства того, что особенно крупные самки веслоноса имели показатели репродуктивной функции по плодовитости меньше, чем особи менее крупные. В то же время существует взаимосвязь между соматическим и репродуктивным функциям: по мере набора массы все большая доля энергии направляется на формирование половых продуктов (Подушка, 1999; Чебанов и др., 1996). Полученные результаты морфометрических показателей (масса и длина) самок веслоноса в основном соответствовали рыбам природного происхождения (Carlander, 1969), кроме сроков достижения половой зрелости: некоторые особи в прудах созрели на 10–12 лет позже.

#### **3.6.2.1. Плодовитость самок веслоноса в зависимости от длины тела**

Ранее полученные результаты морфометрических показателей веслоноса свидетельствуют о том, что наибольший общий размер длины рыб варьировал от 130 до 155 см, а длина до развилки – от 119 до 141 см для всех возрастных групп (табл. 20). Наиболее часто регистрируемые категории длины рыб относятся к двум группам: длинные самки ( $\geq 144$  см) и короткие

самки (<144 см). Показатель выхода икры от массы тела длинных самок был значительно выше, чем у меньшего размера. Как правило, плодовитость рыб увеличивалась по мере роста до наибольшей длины, и взаимосвязь между плодовитостью и общей длиной характеризовалась кривой степенной функции (табл. 20). Среднее значение индикатора абсолютной плодовитости (АП) изменялось от 270,8 до 160,5 тыс. шт. в зависимости от длины рыб.

Таблица 20

Сравнительная оценка рассчитанных значений абсолютной и относительной плодовитости на общую длину параметры производителей веслоноса при получении икры в рыбоводных целях в 2020 году

№ рыбы	Год рождения	L, см	Масса икры, кг	Кол-во икры в 1 г, шт.	Абсолютная плодовитость, тыс. шт.	Относительная плодовитость, тыс. шт./кг	f(АП), тыс. шт.	f(ОП), тыс. шт.
1	1997	131	1,1	114	125,4	0,96	154,8	1,18
2	1997	144	3,0	114	342,0	2,38	184,0	1,28
3	1997	146	1,5	111	166,5	1,14	188,7	1,29
4	2002	136	1,5	112	162,4	1,19	165,7	1,22
5	2002	155	1,7	113	191,0	1,23	210,5	1,36
6	2003	138	1,7	114	191,5	1,39	170,2	1,23
7	2003	145	1,6	112	180,3	1,24	186,4	1,29
8	2003	130	1,4	113	162,7	1,25	152,6	1,17
9	2003	144	1,2	110	132,0	0,92	184,0	1,28
Итого		–	14,7	1013	1653,8	11,70	1597	11,30
средние значения одной самки		141	1,63	113	183,8	1,30	177,4	1,26

Примечание:  $f(\text{АП})$  –  $f$  (абсолютная плодовитость) – формула представляет взаимосвязь между плодовитостью и общей длиной тела с кривыми мощности:  $F = aL^b$ , согласно Vagenal (1978), Vagenal, Braut (1978);  $f(\text{ОП})$  –  $f$  (относительная плодовитость) = абсолютная плодовитость / общая длина рыбы, см;  $L$  – наибольшая длина рыб.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) в уравнении прогнозирования (11), позволяет определить долю дисперсии абсолютной плодовитости, прогнозируемой через наибольшую длину. Результаты ( $R^2$ ) показали, что изменение абсолютной плодовитости объяснялось наибольшей длиной в зависимости от сезона нереста ( $R^2 = 1$ ). Модель статистического исследования выполнена в соответствии с (Pitcher, MacDonald, 1973), следующим образом:

$$Y = 0,021X^{1,829}, \quad (11)$$

где  $Y$  – абсолютная плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – наибольшая длина, см.

Исходя из возрастной классификации, средние значения абсолютной плодовитости в 1-й группе рыб 1997 года рождения составили 211,3 тыс. шт. для зрелых производителей (23 года и общая длина = 140,3 см). В то же время средние значения показателей уменьшились до 176,7 и 166,6 тыс. шт. для группы рыб 2002 и 2003 годов происхождения при общей длине 145,5 и 139,3 см (рис. 16).

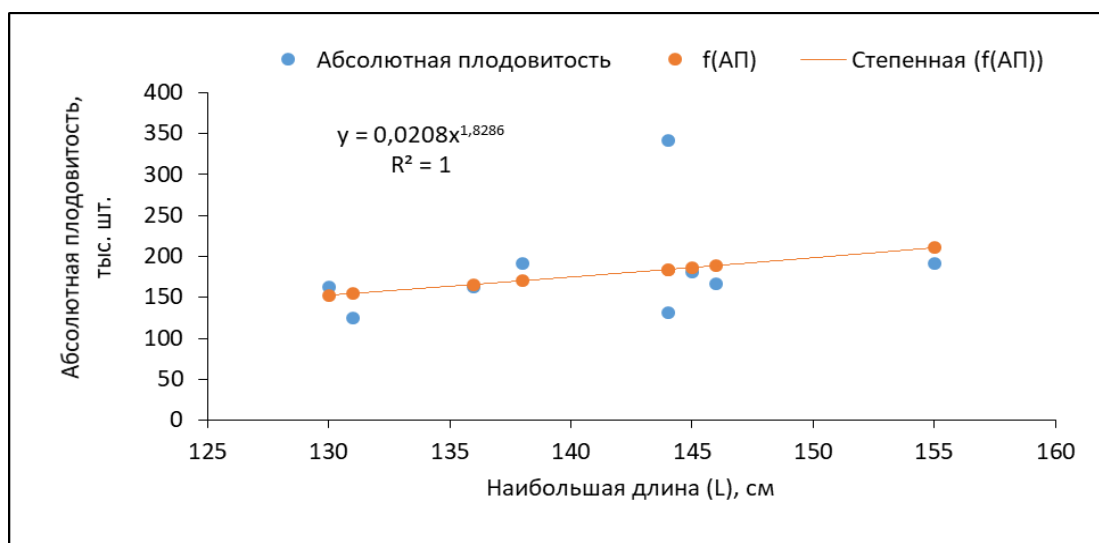


Рисунок 16. Расчетные значения абсолютной плодовитости в зависимости от возраста и длины тела

Крайний индивидуальный случай: самка № 2, которая созрела впервые в возрасте 23 лет, показала среднюю абсолютную плодовитость – 342 тыс. шт., что почти вдвое превышает среднее значение. В отличие от нее самка № 1 (23 года), достигшая половой зрелости впервые в 20 лет и отдавшая икру в третий раз, имела снижение абсолютной плодовитости до 125,4, что намного меньше среднего значения. Следует отметить, что обе самки различались по длине, связанной с плодовитостью, при этом самой длинной была самка № 2 (масса икры = 3 кг, общая длина = 144 см), самой короткой – самка № 1 (масса икры = 1,1 кг, общая длина = 131 см). Эти результаты показали, что общая длина рыбы является существенным показателем, позволяющим прогнозировать плодовитость самок веслоноса.

Аналогично, средняя относительная плодовитость (ОП) увеличивалась с ростом длины рыбы и колебалась от 1,4 до 1,2 тыс. шт./кг для длинных и коротких самок соответственно. По возрастным группам результаты относительной плодовитости не отличались от абсолютной плодовитости, поскольку снижение было постепенным – около 1,5, 1,2 и 1,2 тыс. шт. для возрастных рыб (23 года) и рыб среднего возраста (18 и 17 лет) соответственно. Самка № 2, самая фертильная, показала результат ОП на уровне 2,38 тыс. шт./кг, что намного выше среднего значения (+83 %). Напротив, самка № 9 наименее фертильна – ОП около 0,92 тыс. шт./кг, что намного ниже среднего значения (–29 %).

В уравнении прогнозирования (12) результаты ( $R^2$ ) также показали, что 100%-я вариативность относительной плодовитости объясняется наибольшей длиной следующим образом:

$$Y = 0,021X^{0,9702}, \quad (12)$$

где  $Y$  – относительная плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – наибольшая длина, см.

Результаты плодовитости выращиваемых производителей веслоноса в условиях юга России оказались аналогичными, иногда некоторые самки превышали значения плодовитости, отмеченные для популяций веслоноса в Кентукки и верховьях реки Миссисипи на севере США. Более того, наши результаты оказались значительно выше максимальной плодовитости, установленной для луизианских рыб в Южной Америке (Reed et al., 1992).

Хотя полученные результаты по плодовитости хорошо согласуются с разнообразием возрастных структур самок веслоноса, указанным в литературе (Holden, Raitt, 1974), тем не менее, индекс длины рыб не является статистически значимым и не может учитываться при прогнозировании плодовитости самок. Simpson (1951) указал, что связь между плодовитостью и общей длиной лучше всего выражается уравнением типа  $F = cL^n$ , где значение показателя  $n$  больше 3,00. Применительно к настоящей работе, значение экспоненты (1,22) меньше 3,00.

### 3.6.2.2. Плодовитость самок веслоноса в зависимости масса тела

Изучение плодовитости по отношению к массе рыб имеет большое значение, так как этот показатель больше подвержен изменениям в нерестовый период. В условиях благоприятной среды обитания и качественного корма масса рыб увеличивается, вероятно, и плодовитость самок веслоноса возрастает, о чём свидетельствуют данные, представленные в таблице 21.

Pitcher, MacDonald (1973) показали, что соотношение между плодовитостью и массой рыб является линейной функцией и имеет формулу  $F = aW + b$ , где  $W$  – масса рыбы;  $a$ ,  $b$  – константы. Полученные нами данные подтверждают результаты американских исследователей (рис. 17). Этот метод является лучшим выражением, поскольку учитывается разница между массой рыб в течение сезона и ростом гонад (Holden, Raitt, 1974).

Таблица 21

Сравнительная оценка рассчитанных значений абсолютной и относительной плодовитости по отношению к массе рыбы веслоноса при получении икры в рыбоводных целях в 2020 году

№ рыбы	Год рождения	Масса рыбы (W), кг	Масса икры, кг	Кол-во икры в 1 г, шт.	Абсолютная плодовитость, тыс. шт.	Относительная плодовитость, тыс. шт./кг	$f(\text{АП})$ , тыс. шт.	$f(\text{ОП})$ , тыс. шт.
1	1997	11,2	1,1	114	125,4	11,20	139,9	12,50
2	1997	15,3	3,0	114	342,0	22,35	202,1	13,21
3	1997	15,5	1,5	111	166,5	10,74	205,2	13,24
4	2002	13,3	1,5	112	162,4	12,21	171,8	12,92
5	2002	17,4	1,7	113	191,0	10,98	234,0	13,45
6	2003	13,5	1,7	114	191,5	14,19	174,8	12,95
7	2003	14,2	1,6	112	180,3	12,70	185,5	13,06
8	2003	12,3	1,4	113	162,7	13,23	156,6	12,73
9	2003	14,1	1,2	110	132,0	9,36	183,9	13,04
Итого		126,8	14,7	1013	1653,8	117,0	1654	117,1
средние значения одной самки		14,09	1,63	112,56	183,8	13	183,8	13,01

Примечание:  $f(\text{АП})$  –  $f$  (абсолютная плодовитость) – формула представляет взаимосвязь между плодовитостью и массой рыбы с кривыми мощности:  $F = aW + b$ , согласно Vagenal (1978), Vagenal, Braut (1978);  $f(\text{ОП})$  –  $f$  (относительная плодовитость) = абсолютная плодовитость / масса рыбы.

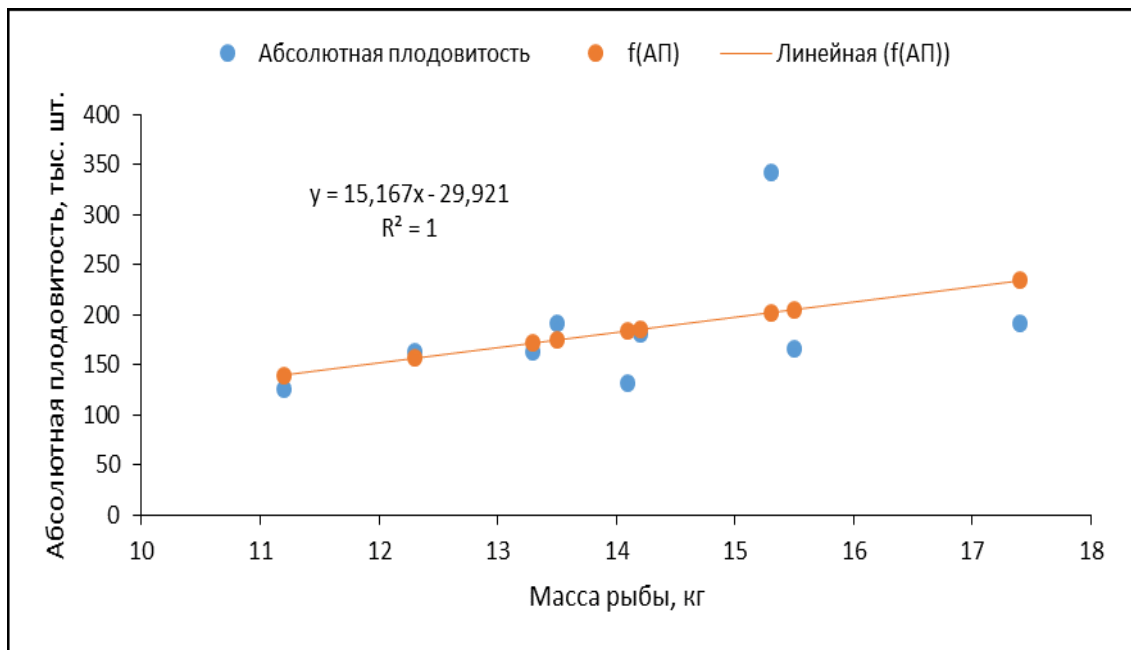


Рисунок 17. Расчетные значения абсолютной плодовитост в зависимости от возраста и массой рыб

Абсолютная плодовитость увеличивалась с ростом общей массы самки, как уже указывалось выше. В уравнении прогнозирования (13) результаты ( $R^2$ ) также указывают на устойчивую связь между абсолютной плодовитостью и массой самки веслоноса:

$$Y = 15,17X - 29,92, \quad (13)$$

где  $Y$  – абсолютная плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – масса рыбы, кг.

Относительная плодовитость веслоноса в среднем составила 13 тыс. шт./кг, что превосходило значения для производителей веслоноса, обитавших в реке Миссисипи (11–12 тыс. шт./кг) (Carlander, 1969), при этом четыре особи (№ 1, 3, 4 и 5) имели массу 11,2, 15,5, 13,3 и 17,4 кг соответственно, как и американские рыбы. Самый низкий показатель плодовитости (9,36 тыс. шт./кг) был зафиксирован у самки № 9, хотя её масса тела была в пределах среднего значения. Можно отметить, что самки веслоноса, выращенные и созревшие в условиях Нижней Волги, имели достаточно большую среднюю массу тела, как и плодовитость, чем у рыб, обитавших в южной части США (АП – 11,3 кг, ОП – 9,5 тыс. шт./кг) (Reed et al., 1992).

Для прогнозирования показателей относительной плодовитости была разработана уравнений (14). Результаты ( $R^2$ ) показали, что плодовитость 97,8 % производителей веслоноса была объяснена изменением массы их тела по следующей формуле:

$$Y = 0,15X + 10,87, \quad (14)$$

где  $Y$  – абсолютная плодовитость, тыс. шт.;

$X$  – масса рыбы, кг.

В работе было установлено, что самки веслоноса 1997 и 2003 годов происхождения имели среднюю массу тела 14,0 и 13,5 кг и среднюю относительную плодовитость 14,8 и 12,4 тыс. шт./кг соответственно, в то время как ОП у особей 2-й группы (2002 года происхождения) при средней массе тела 15,4 кг составила 11,6 тыс. шт./кг. Это показывает, что самки веслоноса 2-й группы направляют большую часть энергии на пластический рост в период созревания и отражает неудовлетворительные показатели продуктивности данной группы рыб.

Таким образом, выполненные расчёты показали, что, очевидно, существует тесная симметричная связь между морфометрическими показателями особей веслоноса (длиной и массой производителей) и их плодовитостью. Мы установили, что самки веслоноса длиной равной или более 144 см и массой более 14 кг показывают высокие показатели плодовитости (АП – 202,4 тыс. шт., ОП – 13,3 тыс. шт./кг), чем рыбы длиной меньше 144 см и массой меньше 14 кг (АП – 160,5 тыс. шт., и ОП – 12,1 тыс. шт./кг). Хотя, необходимо отметить, что требуется перепроверка этих данных в связи с тем, что исследуемых рыб было недостаточно для окончательного заключения.



### 3.7. Характеристика состояния водных источников и качества воды в Арабской Республике Египет для развития аквакультуры веслоноса

Территория Египта богата водными ресурсами, что позволило ее жителям активно развивать аквакультуру и войти в десятку лучших стран мира по производству рыболовной продукции. Около 98 % ресурсов пресной воды в Египте обеспечивается рекой Нил (поверхностные воды и подземные водные бассейны), которая берет свое начало в других странах Африки, а 2 % – это колодезная и опреснённая вода и т. д. В последнее время осадки считаются одним из основных водных ресурсов Египта (табл. 22).

Таблица 22

Расчет долгосрочных годовых возобновляемых ресурсов пресной воды (ВРПВ) в Египте (км<sup>3</sup>/год, в среднем) (по FAO; AQUASTAT, 2016, [https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/countries\\_regions/factsheets/water\\_resources/en/EGY-WRS.pdf](https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/countries_regions/factsheets/water_resources/en/EGY-WRS.pdf))

Внутренний ВРПВ		
Осадков, мм/год	18,1	
Площадь страны, 1 000 га	100 145	
Акватория, км <sup>2</sup>	6000	
Осадков, км <sup>3</sup> /год	18,13	
Поверхностные воды: добываются изнутри	0,5	
Подземные воды: добываются изнутри	0,5 *	
Всего возобновляемых водных ресурсов	1 **	
Внешний ВРПВ		
Водные ресурсы	Количество	Учтенное
Поверхностные воды	84	
Поверхностные воды, поступающие в страну		0
Приток, не подлежащий договорному регулированию		84
Приток, подлежащий договорному регулированию		55,5
Приток, охранный договорами		0
Приток пограничных рек	0	
Учтенный приток		55,5
Общий объем внешних возобновляемых поверхностных вод		55,5
<u>Подземные воды</u>		
Подземные воды, поступающие в страну	1	1
Всего внешних возобновляемых водных ресурсов		56,5
Общий ВРПВ		
Поверхностные воды	56	
Подземные воды	1,5	
Общие возобновляемые	56,5	
Коэффициент зависимости, %	98,26	

Примечание: \*ресурсы подземных вод находятся в водоносных горизонтах в западной пустыне, независимо от Нила. Это значение различается в зависимости от источников, например, 1,3 км<sup>3</sup>/год в буклете ФАО / АКВАСТАТ 1997 года, пересмотренном в 2002 году; \*\*осадки не были рассчитаны в составе общих внутренних возобновляемых ресурсах пресной воды (RFR) из-за отсутствия в стране возможностей, позволяющих хранить и использовать их.

Основными притоками реки Нил являются Розетта и Дамьетта, которые образуют дельту с основанием на берегу Средиземного моря (рис. 18). Представляя собой источник жизни для египтян, Нил располагает основными запасами пресной воды в Египте; он удовлетворяет примерно на 93 % потребность страны в воде, а остальная часть воды добывается из шести подземных водохранилищ, которые до настоящего времени не использовались в значительной степени (El Sayed et al., 2020). Тем не менее, именно подземные воды, как правило, являются лучшим источником для инкубаториев веслоносов и их коммерческого разведения, особенно в земляных прудах.



Рисунок 18. Водная карта Египта, показывающая распределение поверхностей, водных каналов, озер и притоков реки Нил, а также подземных резервуаров и местами рыбоводства в районе дельты Египта

На египетском побережье Средиземного моря находятся пять озер, расположенных в дельте Нила (северные дельтовые озера), каждое из которых, кроме озера Мариут, непосредственно соединяются с морем; они расположены с запада на восток (Мариут – Эдку – Буруллус – Манзала – Бардавилль, рис. 18). Эти озера имеют важное экономическое значение с точки зрения производства рыбоводной продукции, объем которых составляет более 75 % от общего производства рыбы в Египте.

Многие современные проблемы в северных египетских озерах возникли из-за деградации водоёмов за счёт уменьшения содержания растворенного кислорода, общего уровня азота и повышения солености в воде. Все это наносит ущерб среде обитания и питомникам некоторых ценных видов рыб. Также значительное негативное влияние на экологическую обстановку оказывают загрязнение окружающей среды и утилизация отходов в этом районе (Othman et al., 2021).

Для оценки возможности выращивания веслоноса в качестве перспективного объекта аквакультуры в Египте были проанализированы физико-химические показатели водных источников дельтовых озер и русла реки Нил, ее притоков с целью сравнения и определения соответствия основным требованиям к разведению этого вида рыбы (табл. 23).

Выполненный сравнительный анализ показал, что в два озера (Марьют и Эдку) поступает большое количество сточных вод, из-за которых возникает много самых серьезных проблем, в частности, озерная вода содержит высокую микробную нагрузку (аэробные и анаэробные патогенные бактерии), что вызывает недостаток растворенного кислорода.

Следует отметить, что достоверность указанных выше результатов была подтверждена микробиологическим индексом, который указывает на уровень микробной нагрузки в водах, являющейся важным фактором влияния на успешность рыбоводства и биологических закономерностей созревания самок веслоноса в периоды размножения в различных возрастных группах. В таблице 23 указаны результаты ИКВО с учетом трех категорий, которые были зафиксированы в пяти северных озерах Египта: идеальные (И) – Бардавилль; нормальные (Н) – для Манзала и Буруллус.

Физико-химические параметры реки Нил и двух его притоков в совокупности с качеством воды для северных озер в Египте по состоянию на 2017 год (El Sayed et al., 2020)

Показатель	Регион					
	Приток Розетта (Рашид)		Приток Дамьетта		Река Нил (из Асуана в Каир)	
	Диапазон	$M \pm m$	Диапазон	$M \pm m$	Диапазон	$M \pm m$
Температура воды, °C	17,0–31,2	23,5±4,55	18,3–31,4	24,21±4,61	17,8–30,7	24,25±1,05
Прозрачность, см	17–80	46,75±18,06	65–200	124,75±38,71	15–950	482,5±526,5
Водородный показатель (pH)	7,2–8,57	7,83±0,36	7,92–8,54	8,22±0,15	7,3–9,0	8,15±0,35
Концентрация кислорода, мг/л	0,75–6,33	3,5±1,68	4,8–9,8	7,08±1,28	3,0–13,2	8,1±2
Общая минерализация, мг/л	344–752	433,57±84,82	237,44–330	274,09±26,24	137–659	398±86
Электропроводность (ЕС), $\mu S/cm$	538–1176	699,3±131,3	371–516	442,2±39,3	210–1014	399±174
Нитрит-ион, мгN/л	0,007–0,41	0,054±0,08	0,005–0,04	0,016±0,01	0,0005–1	0,0641±0,15
Нитрат-ион, мгN/л	0,042–0,79	0,159±0,17	0,042–0,390	0,136±0,11	0,003–1,9	0,941±0,513
Аммоний-ион (NH <sub>4</sub> -N), мгN/л*	2,7–13,9	6,39±2,57	0,177–0,55	0,31±0,1	0,021–2	1,129±0,753
Фосфат-ион (PO <sub>4</sub> -P), мгN/л	0,163–0,77	0,344±0,14	0,01–0,075	0,026±0,02	0,004–0,4	0,1935±0,018
HCO <sub>3</sub> , мг/л	176,9–289	216,87±31,16	120,78–198	161,57±20,07	94,1–324	209,35±30,3
Cl, мг/л	47,94–198	69,49±30,13	21,43–37,72	28,33±4,98	6,18–96,8	51,49±8,27
Ca, мг/л	30,41–65,9	38,41±7,6	21,65–33,93	26,8±4,04	9,43–41,2	25,295±2,4
Na, мг/л	43,17–110	57,73±14,13	22,53–35,88	28,32±4,06	11,25–72	42,02±6,98
K, мг/л	9,36–13,55	11,53±1,35	7,69–9,93	9,07±0,62	3,67–12	7,875±1,42
Уровни (диапазоны) качества воды для северных озер в Египте						
Показатель	Бурулус	Манзала	Бардавиль	Нормативные и предельные значения показателей ***		
Температура воды, °C	17,20–20,50	15,50–17,80	14,30–16,30	Температура активного роста, Норма – более +18; допустимый предел – 15 - 28		
Прозрачность, см	10–40	10–50	100–200	не менее 75 – 100; допустимые значения: 20 – 150		
Водородный показатель (pH)	7,52–8,87	7,39–7,81	7,18–8,32	Норма – 6,5 – 8,5; 6,0 - 8,0		
Концентрация кислорода, мг/л	3,09–18,04	0,00–8,94	5,77–7,39	Норма – 5,0 - 7,0; допустимый предел – 3,5 - 10		
Общим количеством растворённых частиц (Общая минерализация, мг/л)	36,75–147,45	36,25–164,05	3,63–19,44	30-80		
Соленость воды, г/л	0,97–15,64	1,92–24,66	38,04–54,45	до 4–6		
Нитрит-ион, мгN/л	0,003–0,363	0,003–0,242	0,0006–0,0008	не более 0,2; 0,3		
Нитрат-ион, мгN/л	0,032–1,348	0,016–1,654	0,004–0,006	0,2–2,0; 3,0		
Аммоний-ион (NH <sub>4</sub> -N), мгN/л *	0,032–3,42	0,009–5,450	0,005–0,126	Норма для прудов при азот. удобрении – до 1,0 при pH 8,0 и менее; допустимые значения: менее 1,0		
Фосфат-ион (PO <sub>4</sub> -P), мгN/л	0,038–1,873	0,023–0,183	0,002–0,007	0,1–0,2; до 2,0		
Микробиологический индекс <sup>a</sup>	Н	Н	И	Н		

*Примечание: \*допустимый уровень аммиака в зависимости от температуры (20–30 °C) и значения pH (7,5–8,5); \*\*FAO по данным Ayers, Westcot (1994); \*\*\*требования к качеству воды для веслоноса – нормативные и предельные значения показателей для товарного выращивания веслоноса в нагульных прудах (Козлов, 1998; Краюшкина, Семёнова, 1991; Мартемьянов, 2015). С помощью микробиологического индекса оценивают микробную нагрузку в водоеме через колониеобразующую единицу (КОЕ/ 00, мл), которая показывает количество жизнеспособных бактерий или грибковых клеток в водоеме. Кроме того используется индекс качества воды Орегон (ИКВО). Индекс предназначен для оценки качества воды общего пользования; баллы ИКВО могут варьировать в двух категориях: 1) идеальный (И) – высокие значения и 2) нормальный (Н) – в пределах диапазона. Первые два типа можно использовать для выращивания рыбы.*

Согласно стандартам Европейской комиссии (1988) и Министерства здравоохранения Египта (1996 и 2000), озера Марьют и Эдко не рекомендованы к сельскохозяйственным проектам в целом и не подходят для разведения рыбы, более того, представляют угрозу для здоровья населения. Напротив, параметры

воды озера Манзала соответствуют среднему диапазону качества воды. Большинство объектов аквакультуры и рыбоводческих хозяйств расположены на юге озера Буруллус, где производят 60 % от общего объема производства, при этом не зафиксировано отрицательных изменений в качестве и количестве дренажных вод, использующихся в аквакультуре (Shaalan et al., 2018).

Качество воды лагуны Бардавилль является идеальным и лучшим по сравнению со всеми северными озерами в Египте. Лагуна играет важную роль в озерном рыболовстве в Египте, поскольку это наименее загрязненное водно-болотное угодье страны, большая часть улова из которого экспортируется. Эта территория является уникальной особенностью рельефа Северного Синая и важным источником добычи для местного товарного рыбоводства в Египте (Mehanna, 2013). Однако она не подходит для выращивания веслоноса из-за высокого уровня солености воды (38,04–54,45 г/л), который не должен превышать значений 4–6 г/л.

Определить показатель микробиологической нагрузки в низовьях р. Нил затруднительно, т. к. здесь высокий расход воды, что приводит к неоднородности уровней питательных веществ вдоль течения реки. Поэтому учитывались основные факторы (температура воды, растворенный кислород, нитриты, нитраты и аммонийный азот) и сравнивались с рекомендуемыми требованиями к качеству воды для выращивания веслоноса.

В целом водные источники притоков Рашид и Дамьетта и сама река Нил могут быть использованы для создания нагульных прудов, однако некоторые параметры, в частности, содержание кислорода, азотистых соединений и фосфатов этих источников, за сезон претерпевают большие изменения, чем воды из источников дельтовых озер, к тому же не исключено появление возбудителей болезней (Тарасенко, 2013). Все эти факторы могут сыграть негативную роль в выращивании и созревании веслоноса в прудах, которые снабжаются водой из этих водных источников Египта.

Водоносный пласт снабжает водой египетскую дельту от южной части Каирской области до северного побережья Средиземного моря. Все эти регионы богаты возобновляемыми ресурсами подземных вод высокого качества по большинству физико-химических показателей, таких как

соленость воды (0,03–0,08 г/л), концентрация кислорода (3–4 мг/л), оптимальная температура зимой (25–29 °С), летом критические значения регистрируются только в южной части дельты, достигая 31–33 °С. Таким образом, подземные воды отвечают практически всем требованиям качества воды для выращивания веслоноса. Единственным недостатком является высокое содержание оксидов железа, от которого можно избавиться применением отстойников с аэрацией воды.

Доказано, что очищенные коммунальные стоки из сельскохозяйственных районов, в частности, из северных областей, являются подходящим источником воды для выращивания веслоноса, т. к. обладают высоким содержанием кислорода, общим дезинфицирующим действием, не содержат патогенных микроорганизмов, жесткость и щелочность находятся в диапазоне от 100 до 300 мг/л, уровень рН стабилен (7,0–7,4). Основываясь на полученных сравнительных результатах требований к качеству воды и водных ресурсов Египта, не рекомендуется использование поверхностных вод реки Нил из Асуана на юге до Каира на севере; в качестве основных источников можно предложить использование подземных и очищенных сточных вод для активного развития аквакультуры веслоноса в средних и северных районах дельты Нила, особенно в районе Кафр-эль-Шейха, а также озера Буруллус и Манзала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований основных факторов, влияющих на состояние самок веслоноса, неоднократно созревавших в прудовых условиях, и изучении их репродуктивной функции были сделаны следующие ВЫВОДЫ:

1. Путем мониторинга качественных характеристик воды по физико-химическим показателям было установлено, что в нагульных прудах в период исследований температурный и гидрохимические режимы были благоприятными и соответствовали требованиям для разведения веслоноса. Исключением явилось незначительное увеличение содержания нитратов после каждого нерестового сезона в 2017–2020 годах и кратковременные повышения температуры воды в летние месяцы.

2. Изучение изменений массы самок веслоноса за период летнего нагула и зимнего содержания показало, что прирост массы у старшевозрастных групп рыб (20 лет и выше) за летний период был больше (12,5 %), чем у младших (15–16 лет) групп и составлял около 8 %. За период зимовки потери массы самок веслоноса оказались выше у рыб старше возрастных, чем у младших групп рыб. В зимний малохолодный сезон 2018–2019 годов потери массы веслоноса оказались наибольшими, чем за холодную следующую зиму 2019–2020 годов, т. к. рыбы залегали на дне, мало двигаясь.

3. Подтверждено, что рыбоводные показатели репродуктивной функции исследуемых самок веслоноса в основном соответствовали рыбам естественной генерации, кроме сроков достижения половой зрелости: некоторые особи 1997 года рождения созрели на 10–12 лет позже – в 20–23 года, чем особи более позднего происхождения (2002 и 2003 годов), впервые созревавшие на 2–7 лет раньше, в возрасте 13 и 14 лет, а одна особь – в 9 лет. Межнерестовые периоды рыб были различными – от 1 до 4 лет, в среднем – 1,6 года, что согласуется с данными североамериканских ученых. Средние значения массы самок веслоноса, отдавших икру в пищевых целях, были в пределах от 13,8 до 16,3 кг, что меньше почти на 10 кг по сравнению с

рыбами в условиях естественного ареала обитания (25 кг). Средний выход икры составил 11,1 %, что также меньше, чем у самок веслоноса естественного происхождения (15–25 %).

4. Исследованиями репродуктивной функции самок веслоноса, отдавших икру для рыбоводных целей установлено, что среднее значение абсолютной плодовитости составило 184 тыс. шт., наибольшее (342 тыс. шт.) было получено от самки, впервые созревшей в 23 года, наименьшее (132 тыс. шт.) – от самки, достигшей половой зрелости в 17 лет. Эти результаты подтверждают предположение, что самки старшего возраста являются наиболее эффективными и имеют высокий коэффициент фертильности. Полученные ооциты были довольно мелкими, в среднем в 1 г насчитывалось 113 шт., у разных самок они отличались несущественно. Средний показатель оплодотворения – 84,8 %; наилучшие результаты (выше 90 %) были получены у двух рыб, созревших в 1-й раз и у повторно созревших во 2-й и 5-й раз, что свидетельствует о хорошем качестве икры веслоноса. Наименьший процент оплодотворения оказался у двух самок дважды – 64 и 72 % соответственно. Развитие икры в среднем составил 56 %, почти от всех самок была получена икра с выходом личинок выше 50 %.

5. Гематологические исследования показали, что все исследуемые самки веслоноса были в удовлетворительном физиологическом состоянии, значительных различий показателей концентрации гемоглобина и сывороточного белка в крови не выявлено. Кровь, полученная от самок веслоноса, имела высокие значения показателей гемоглобина, что свидетельствует о хорошей адаптации рыб к новым условиям содержания и условиям и значительной выносливости. У самок веслоноса, отдавших икру, кровь имела лимфоцитарный характер, т. е. лимфоциты преобладали, составляя около или более половины от общего количества лейкоцитов. У отдельных особей лимфоциты были снижены до 44–49 % за счет повышения количества нейтрофильных гранулоцитов. На фоне благополучной картины в составе белой крови можно проследить заметное увеличение содержания



нейтрофилов (в большей степени метамиелоциты и палочкоядерные и сегментноядерные формы) – 30–26 % от всех лейкоцитов, основная функция которых фагоцитарная. Относительная нейтрофилия, скорее всего, связана с усиленной их бактерицидной функцией, что является иммунной защитой на антигенное раздражение. Возможно, что фагоцитарная активность нейтрофилов у производителей веслоноса выше, чем у осетровых.

6. Разработаны формулы математической зависимости, позволяющие прогнозно определять количество полученной икры в пищевых целях, а также абсолютной и относительной плодовитости самок веслоноса, отдавших икру рыбоводного назначения. Для прогноза определения количества полученной икры в пищевых целях учитываются показатели массы и возраста первого созревания самок, а для расчёта плодовитости применяются морфометрические показатели – массы и наибольшей длины самок веслоноса. Проверенная достоверность разработанных формул составляет 70–90 %.

7. Определено, что развитие аквакультуры веслоноса в Республика Египет возможно в двух северных озёрах: Манзала и Буруллус, – в которых воды по физико-химическим параметрам соответствуют требованиям для культивирования этого вида рыб. В двух других озерах (Марьют и Эдко) выращивать веслоноса не представляется возможным, т. к. в воде высокая микробная нагрузка (аэробные и анаэробные патогенные бактерии) из-за большого количества сточных вод, что вызывает недостаток растворенного кислорода. В качестве основных источников водоснабжения возможно использование подземных и очищенных сточных вод для активного развития аквакультуры веслоноса средних и северных районах дельты Нила, особенно в районе Кафр-эль-Шейха.

## НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В соответствии с достигнутыми теоретическими и практическими результатами исследований репродуктивной функции самок веслоноса, неоднократно созревшими в прудовых условиях и отдавшими икру в пищевых и рыбоводных целях, были разработаны рекомендации:

- Обеспечение управления качеством воды и ее физическими характеристиками, среди которых температурный режим является наиболее важным показателем. Для достижения наилучших результатов по темпам роста и созревания самок веслоноса роста рекомендуемая температура воды составляет от 18 до 27 °С.

- Для прогноза количества получения икры в пищевых целях следует использовать разработанную формулу математической зависимости по показателям массы и возраста 1-го созревания. Определение ожидаемой абсолютной и относительной плодовитости можно просчитать по формуле с учетом массы и длины самок веслоноса. Определено, что наилучшие показатели плодовитости самок веслоноса, выращенных в прудах, можно получить от рыб длиной  $\geq 144$  см и массой тела более 14 кг.

- Для развития аквакультуры веслоноса в Республика Египет рекомендуется использование двух северных озёр: Буруллус и Манзала, воды которых соответствуют требуемым качествам. Основными источниками водоснабжения могут быть подземные и очищенные сточные воды в водоёмах средних и северных частях дельты Нила (особенно в Кафр-эль-Шейха).

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

В перспективе дальнейших исследований по теме диссертационной работе предполагается углублённо изучать возможности развития аквакультуры веслоноса в республике Египет, для чего разработать конкретную программу по акклиматизации веслоноса в египетских водоёмах. В рамках первоочередных действий следует исследовать состояние водоёмов, пригодных для вселения веслоноса и прежде всего подробно изучить современное состояние температурного и гидрохимического режимов в них, а также провести сравнительный анализ их соответствия рекомендуемым требованиям и затем разработать поэтапный план действий.

В научном направлении следует закрепить полученные данные репродуктивной функции самок веслоноса, неоднократно созревших в прудах, для чего повторить и внести изменения в методику проведения исследований с учётом использования большего количества самок веслоноса для подтверждения репрезентативности достигнутых результатов. В предстоящий рыбоводный сезон выполнить работу по проверке полученных математических зависимостей выхода икры и плодовитости самок веслоноса от морфометрических показателей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВНИРО – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

КАСПНИРХ– Каспийский научно-исследовательский институт рыбной промышленности и хозяйства

НЭКА «БИОС» – Научно-экспериментальный комплекс аквакультуры «БИОС»

ЦДВ – цех длительного выдерживания производителей с системой терморегуляции

УДТ – управление Долины Теннесси

УЗВ – установка замкнутого водоснабжения

РМС – ремонтно-маточное стадо

МНП – межнерестовые периоды

ОСБ – общий сывороточный белок

КУ – коэффициент упитанности

ОП – относительная плодовитость

АП – абсолютная плодовитость

ВРПВ – возобновляемых ресурсов пресной воды

ИКВО – индекс качества воды Орегон

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин, О. А. Руководство по химическому анализу вод суши / О. А. Алекин, А. Д. Семенов, Б. А. Скопинцев. – 3-е изд. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1973. – 270 с.
2. Алиева, Е. М. Биотехнология выращивания веслоноса. Веслонос как объект прудового рыбоводства / Е. М. Алиева, А. Д. Гусейнов, Р. М. Алиева, А. С. Саидгаджиев // Горное сельское хозяйство. – 2016б. – № 3. – С. 178–181.
3. Алиева, Е. М. Опыт выращивания веслоноса / Е. М. Алиева, А. Д. Гусейнов, Р. М. Алиева, А. С. Саидгаджиев // Актуальные проблемы развития животноводства Республики Дагестан. – 2016а. – С. 123–127.
4. Архангельский, В. В. Выращивание посадочного материала и товарного веслоноса в поликультуре с осетровыми рыбами / В. В. Архангельский. – Астрахань : КаспНИРХ, 1997. – 28 с.
5. Архангельский, В. В. Изменение гематологических показателей веслоноса в возрастной динамике / В. В. Архангельский, И. А. Вихляева // Проблемы современного товарного осетроводства : тезисы докл. первой научно-практич. конференции. – Астрахань, 1999. – С. 106–108.
6. Архангельский, В. В. Опыт выращивания веслоноса в поликультуре с осетровыми рыбами / В. В. Архангельский, В. А. Крупий, А. А. Попова // Рыбное хозяйство. Информ. пакет. Аквакультура. Прудовое и озерное рыбоводство. – 1995. – № 3. – С. 9–18.
7. Архангельский, В. В. Особенности выклева предличинок веслоноса / В. В. Архангельский // Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре : тез. докл. Междунар. симп. (21–24 октября 1996 г., г. Адлер). – Краснодар, 1996. – С. 68–69.
8. Архангельский, В. В. Реакции личинок и молоди веслоноса на температурные воздействия / В. В. Архангельский // ВНИЭРХ. Аквакультура: Проблемы и достижения. – Москва, 1998.
9. Архангельский, В. В. Руководство по выращиванию веслоноса в условиях Нижнего Поволжья / В. В. Архангельский, В. А. Крупий, А. А. Попова, В. В. Виноградов, М. В. Бреденко, Е. А. Мельченков. – Москва : ВНИИПРХ, 1997. – С. 60.
10. Ахундов, М. М. Влияние экологических факторов на ранний гамето- и гонадогенез осетровых рыб: автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. М. Ахундов. – Баку, 1991. – 18 с.
11. Барулин, Н. В. Стратегия развития осетроводства в Республике Беларусь / Н. В. Барулин // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2017. – № 2. – С. 82–90.
12. Бедняков, Д. А. Структурно-функциональные особенности мембранного пищеварения у осетрообразных видов рыб и их гибридов : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Д. А. Бедняков. – Астрахань, 2014.
13. Беляева, Е. С. Особенности строения пищеварительного тракта веслоноса *Polyodon spatula* (Walb.) в раннем онтогенезе / Е. С. Беляева //

Систематика, морфология и экология рыб: тр. ЗИН АН СССР. – Ленинград: ЗИН, 1988. – С. 62–71.

14. Беляева, Е. С. Сравнение активности ферментов пищеварительного тракта белуги и веслоноса / Е. С. Беляева, А. В. Козлов, Г. Н. Ермолаев, Д. Г. Мальдов // Первый конгресс ихтиологов России: тез. докл. (Астрахань, сентябрь 1997). – Москва : ВНИРО, 1997. – 212 с.

15. Билык, А. В. Влияние плотности посадки на эффективность выращивания сеголетков стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus) и веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum) в условиях юга Украины / А. В. Билык, Н. А. Грудко, И. М. Шерман // Рибогосподарська наука України. – 2018. – № 2. – С. 89–102.

16. Богданов, Н. И. Прудовое рыбоводство Пензенской области / Н. И. Богданов, А. Ю. Асанов. – Пенза : ПГСХА, 2005. – С. 28–32.

17. Бреденко М. В. Реакция зародышей веслоноса на экстремальное температурное воздействие / М. В. Бреденко // Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре : тез. докл. второго Междунар. симп. – Краснодар, 1999а. – С. 18–19.

18. Бреденко, М. В. Аномалии в эмбриональном развитии веслоноса / М. В. Бреденко // Проблемы современного товарного осетроводства : тез. докл. 1-й науч.-практ. конф. (г. Астрахань, 24–25 марта 1999 г.). – Астрахань, 1999b. – С. 16–17.

19. Бреденко, М. В. Влияние температуры на раннее развитие веслоноса / М. В. Бреденко // Проблемы развития пресноводной аквакультуры : тез. докл. совещ. – Москва : ВНИИПРХ, 1993. – С. 50–51.

20. Бреденко, М. В. Особенности развития веслоноса (*Polyodon spathula* (Walbaum)) в раннем онтогенезе в связи с вопросами разведения / М. В. Бреденко, В. К. Виноградов, В. Г. Чертихин // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. – 1993. – Т. 69. – С. 108–114.

21. Бреденко, М. В. Особенности развития икры и эмбрионов у впервые и повторно созревающих самок веслоноса при искусственном воспроизводстве / М. В. Бреденко, В. Г. Чертихин // Развитие аквакультуры во внутренних водоемах : тез. докл. Конф. – Москва, 1995. – С. 37–39.

22. Бреденко, М. В. Эколого-морфологические особенности раннего развития веслоноса в связи с искусственным воспроизводством : автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. В. Бреденко. – Москва : ВНИИПРХ, 1999с. – 29 с.

23. Бубунец, Э. В. Воспроизводство и выращивание анадромных осетровых рыб Понто-Каспийского бассейна в условиях тепловодных хозяйств : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Э. В. Бубунец. – Москва : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. – 40 с.

24. Васильева, Л. М. Аналитический обзор интеграции американского веслоноса в аквакультуру России / Л. М. Васильева, А. З. Анохина, М. А. Элнакиб, Н. В. Судакова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020а. – № 2. – С. 100–107.

25. Васильева, Л. М. Ведение племенной работы и формирование ремонтно-маточных стад веслоноса в условиях Астраханской области / Л. М. Васильева, В. В. Архангельский, Е. А. Мельченков. – Астрахань, 2000. – 24 с.

26. Васильева, Л. М. Особенности выращивания сеголетков веслоноса в поликультуре с осетровыми в условиях Нижней Волги / Л. М. Васильева, М. А. Элнакиб, Н. В. Судакова, А. З. Анохина // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. – 2020b. – Т. 1. – С. 429–432.

27. Виноградов, В. Американский веслонос в России / В. Виноградов, Л. Ерохина, Е. Мельченков, В. Чертихин // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 53–54.

28. Виноградов, В. К. Биологические основы разведения и выращивания веслоноса (*Polyodon spathula* (Walbaum)) / В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина, Е. А. Мельченков. – Москва : Росинформагротех, 2003. – 344 с.

29. Виноградов, В. К. Биологические основы разведения растительноядных рыб и новых объектов рыбоводства и акклиматизации : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В. К. Виноградов. – Москва, 1985. – 60 с.

30. Виноградов, В. К. Веслонос (*Polyodon spathula* Walbaum) в рыбном хозяйстве России / В. К. Виноградов, Е. А. Мельченков, Л. В. Ерохина, В. Г. Чертихин // Первый конгресс ихтиологов России : тез. докл. (Астрахань, сентябрь 1997 г.). – Москва : ВНИРО, 1997. – 270 с.

31. Виноградов, В. К. Выращивание производителей и разведение веслоноса (предварительные рекомендации) / В. К. Виноградов, Е. А. Мельченков, Л. В. Ерохина, Н. В. Воропаев, В. Г. Чертихин. – Москва : ВНИИПРХ, 1986. – 21 с.

32. Виноградов, В. К. Временные рекомендации по технологии непрерывного выращивания рыбы в прудах / В. К. Виноградов, А. Г. Бекин, Ф. М. Магомаев. – Москва: ВНПО по рыбоводству, 1986. – С. 1–21.

33. Виноградов, В. К. Концепция развития пресноводной аквакультуры России / В. К. Виноградов // Рыбное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 32–34.

34. Виноградов, В. К. Новые объекты рыбоводства и акклиматизации / В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина // Рыбное хозяйство. – 1976. – № 10. – С. 10–13.

35. Виноградов, В. К. Опыт выращивания производителей и искусственного воспроизводства веслоноса / В. К. Виноградов, Е. А. Мельченков, Л. В. Ерохина, Н. В. Воропаев // Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ. – 1984. – № 9. – С. 1–6.

36. Виноградов, В. К. Стартовые корма для культивируемых рыб как предпосылка к рыбоводному освоению веслоноса / В. К. Виноградов, Т. А. Канидзева // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. – 1991. – № 61. – С. 45–52.

37. Виноградов, В. Разведение веслоноса / В. Виноградов, Е. Мельченков, Л. Ерохина, Н. Воропаев, В. Чертихин // Рыбоводство. – 1987. – № 4. – С. 20–23.

38. Власов, В. А. Выращивание русского осетра, веслоноса и белого амура совместно с сеголетками карпа / В. А. Власов, К. М. Лесин //

Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре : тез. докл. Между-нар. симп. – Краснодар, 1996. – С. 40.

39. Гершанович, А. Д. Временные инструкции по выращиванию сеголетков веслоноса *Polyodon Spatula* (Walbaum) / А. Д. Гершанович. – Москва : ВНИРО, 1978. – 202 с.

40. Гершанович, А. Д. Выращивание сеголетков веслоноса, *Polyodon spathula* (Walbaum) / А. Д. Гершанович // Советско-американское сотрудничество в области исследования Мирового океана : симп. по реакции водных экосистем на вселение новых видов. – Москва : ВНИРО, 1977. – С. 30–31.

41. Гершанович, А. Д. Результаты трехлетнего выращивания веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum) в поликультуре с гибридами осетровых, карпом и растительноядными рыбами / А. Д. Гершанович, А. И. Николаев // Морское рыбоводство. – Москва, 1984. – С. 170–175.

42. Гершанович, А. Д. Факторы, определяющие изменения скорости роста и распределение особей по размерам в группах молоди веслоноса *Polyodon spathula* Walbaum (*Polyodontidae*) / А. Д. Гершанович // Вопросы ихтиологии. – 1983. – Т. 23, № 4. – С. 584–589.

43. Гершанович, А. Д. Энергетический обмен и пищевые потребности молоди веслоноса / А. Д. Гершанович // Физиология морских рыб. – Москва, 1980. – С. 27–32.

44. Гимбатов, Г. М. Инновационный подход к развитию пастбищной аквакультуры в условиях республики дагестан / Г. М. Гимбатов // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2014. – № 11 (49). – С. 54–58.

45. Гришин, В. Н. Современные проблемы пресноводной аквакультуры / В. Н. Гришин. – Москва : РУДН, 2008.

46. Грушко, М. П. Особенности гемопоэза у воблы / М. П. Грушко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 126–131.

47. Грушко М.П. Гемопоэз у осетровых рыб / М.П. Грушко, О.В. Ложниченко, Н.Н. Федорова // Международный журнал экспериментального образования. – 2009. – № 4. – С. 12-0; URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=55> (дата обращения: 09.03.2022).

48. Дворянинова, О. П. Веслонос как перспективный сырьевой ресурс рыбной отрасли / О. П. Дворянинова, А. В. Соколов, А. З. Черкесов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 3 (11). – С. 26–37.

49. Дворянинова, О. П. Веслонос – перспективный объект аквакультурного выращивания / О. П. Дворянинова, А. В. Соколов, А. Г. Иорданов, А. З. Черкесов // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса. – Воронеж, 2016. – С. 186–192.

50. Демкина, Н. В. Полиморфизм белков сыворотки крови у веслоноса / Н. В. Демкина, А. Н. Паюсова, Т. Н. Целикова, О. В. Ситнова, М. В. Бреденко



// Первый конгресс ихтиологов России : тез. докл. (г. Астрахань, сентябрь 1997 г.). – Москва : ВНИРО, 1997. – 353 с.

51. Докучаева, С. И. Условия нагула и рыбоводно-биологические показатели выращивания десятилетков веслоноса в прудовых хозяйствах Беларуси / С. И. Докучаева, В. Д. Сенникова, А. Ю. Крук, М. С. Шарай, И. А. Савченко, А. И. Богоньков // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2013. – Т. 29. – С. 157–168.

52. Донник, И. М. Количественная зависимость биологических признаков самок радужной форели от массы рыбы / И. М. Донник, Ю. И. Есавкин, В. А. Власов, В. В. Маслобойщикова // Аграрный вестник Урала. – 2014. – Т. 12, № 130. – С. 26–32.

53. Ерохина, Л. В. Организация воспроизводства растительноядных рыб и новых объектов / Л. В. Ерохина, В. К. Виноградов, Е. А. Мельченков // Биологические основы и производственный опыт рыбохозяйственного и мелиоративного использования дальневосточных растительноядных рыб. – Москва, 1984. – С. 77–78.

54. Иванова, Н. Т. Атлас клеток крови рыб: Сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб / Н. Т. Иванова // Легкая и пищевая промышленность. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 80 с.

55. Канидьева, Т. А. Эффективность новых стартовых комбикормов для личинок и мальков веслоноса / Т. А. Канидьева // Растительноядные рыбы и новые объекты рыбоводства и акклиматизации. – Москва : ВНИИПРХ, 1991. – № 61. – С. 11–17.

56. Козлов, В. И. Справочник фермера-рыбовода / В. И. Козлов // М. Изд-во ВНИРО. – 1998. – С. 261–267.

57. Кокоза, А. А. Искусственное воспроизводство осетровых рыб / А. А. Кокоза. – Астрахань : [АГТУ], 2004. – 207 с.

58. Кокоза, А. А. Сезонная динамика морфофизиологических показателей на примере молоди русского осетра и некоторых межвидовых гибридных форм / А. А. Кокоза, О. Н. Загребина, А. Хасаналипур, Ю. В. Алымов, Л. Р. Гайнуллина. – Астрахань, 2014. – С. 188–192.

59. Колпаносова, Е. В. Химический состав мышечной ткани веслоноса / Е. В. Колпаносова, А. С. Карнишина, В. С. Слободяник // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – 125 с.

60. Кончиц, В. В. Суточный ритм питания личинок веслоноса / В. В. Кончиц, В. Г. Фёдорова, А. М. Кибисов // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2009. – № 25. – С. 97–103.

61. Кончиц, В. В. Технологические аспекты подращивания личинок веслоноса до жизнестойкой стадии / В. В. Кончиц, В. Г. Фёдорова, А. М. Кибисов, О. В. Минаев // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2008. – № 3. – С. 81–85.

62. Королева, Е. А. Законы масштабирования в живой и неживой природе / Е. А. Королева, А. В. Елисеева, В. Г. Смирнов // Сбор. матер. IX

Всероссийской научно-практической конф. молодых ученых с межд. участием" Россия молодая". – 2017. – С. 86007.

63. Краюшкина, Л. С. Исследование солеустойчивости молоди веслоноса / Л. С. Краюшкина, О. Г. Семёнова // Рыбное хозяйство. – 1991. – № 2. – С. 31–32.

64. Лисовская, В. И. Биохимический состав, пищевая и лечебно-профилактическая ценность мидий, выращенных в северо-западной части Черного моря / В. И. Лисовская, В. В. Адобовский // Аквакультура, марікультура. культивування водних організмів. ТНПУ – Тернополь, 2001. – С. 110–112.

65. Лукьяненко, В. И. Внутривидовая дифференциация осетровых и ее значение для рационального ведения осетрового хозяйства / В. И. Лукьяненко // Тезисы отчетной сессии ЦНИОРХ. – Астрахань, 1973. – С. 53–57.

66. Лукьяненко, В. И. Особенности антигенного состава сывороточных белков двух экологических рас волжской стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) / В. И. Лукьяненко // Биология внутренних вод. – 1986. – № 69. – 48 с.

67. Мальцев, Н. В. Развитие рыночных стратегий в региональном рыбном хозяйстве / Н. В. Мальцев, А. В. Обожина // Агропродовольственная политика России. – 2013. – № 7. – С. 31–35.

68. Мартемьянов, В. И. Физиологические механизмы регуляции водного гомеостаза у пресноводных гидробионтов при адаптации к факторам среды / В. И. Мартемьянов // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2015. – Т. 72, № 75. – С. 99–110.

69. Мельченков, Е. А. Биологические основы разведения и выращивания веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum) / Е. А. Мельченков // Избранные труды ВНИИПРХ. – 2001. – Т. 1. – С. 107–119.

70. Мельченков, Е. А. Опыт подращивания личинок и выращивания сеголеток веслоноса / Е. А. Мельченков // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. – 1985. – № 44. – С. 17–22.

71. Мельченков, Е. А. Опыт прижизненного получения зрелых половых продуктов веслоноса / Е. А. Мельченков // Корма и кормление ценных объектов аквакультуры. – Москва : ВНИИПРХ. – 1992. – № 67. – С. 52–56.

72. Мельченков, Е. А. Отечественный опыт разведения и выращивания веслоноса / Е. А. Мельченков, В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина, В. Г. Чертихин, В. А. Илясова, М. В. Бреденко, О. В. Ситнова, В. Е. Хрисанфоров, Т. А. Канидьева, Э. В. Бубунец // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура : обз. инф. ВНИЭРХ. – 1996. – № 1. – 68 с.

73. Мельченков, Е. А. Питание сеголеток веслоноса. – Астрахань, 1988.

74. Мельченков, Е. А. Результаты исследований в области акклиматизации и рыбохозяйственного освоения перспективных объектов аквакультуры / Е. А. Мельченков, Т. А. Канидьева // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 153. – С. 42–56.

75. Мельченков, Е. А. Рыбоводно-биологическая характеристика веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е. А. Мельченков. – Москва : ВНИИПРХ, 1991. – 28 с.

76. Мельченков, Е. А. Технология разведения веслоноса / Е. А. Мельченков, В. К. Виноградов, Л. В. Ерохина // Научно-производственное об-ние по рыбоводству ВНИИ прудового рыбного хозяйства. – Москва : ВНИИПРХ, 1991. – 68 с.

77. Михеев, В. П. К вопросу промышленного разведения стерляди в плавучих садках / В. П. Михеев // Тезисы по перспективному развитию товарного осетроводства в СССР. – Ростов н/Д, 1972. – С. 24–26.

78. Мотлох, Н. Н. Искусственное воспроизводство рыб с применением Нерестина / Н. Н. Мотлох // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2006. – № 9. – С. 26–33.

79. Никольская, М. П. Особенности развития системы ампулярных электрорецепторов в онтогенезе веслоноса *Polyodon spatyula* и осетровых рыб / М. П. Никольская // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 268, № 2. – 424 с.

80. Онученко, О. В. Рибницько-біологічні основи відтворення веслоноса в умовах повносистемних ставових господарств України (на прикладі відкритого акціонерного товариства “Черкасирибгосп”) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. В. Онученко. – Київ : УААН, 2003.

81. Павлова, О. Проблемы функционирования винодельческих предприятий в условиях инновационного развития / О. Павлова // Товары и рынки. – 2009. – № 2. – С. 19–23.

82. Панов, Д. А. Опыт подращивания личинок веслоноса в мальковых прудах / Д. А. Панов, В. С. Бай // Растительная дные рыбы и новые объекты рыбоводства и акклиматизации : сб. науч. тр. – Москва : ВНИИПРХ, 1991. – № 61. – С. 34–36.

83. Патент № 1412035 РФ. Способ получения икры от самок осетровых рыб / Подушка С. Б. ; ЛГУ им. А. А. Жданова. – Заявл. 21.11.1986 ; опубл. 20.04.2008. – Бюл. № 11.

84. Письменная, О. А. Пути повышения продуктивности ильменей при пастбищной аквакультуре : автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. А. Письменная. – Москва : ВНИИПРХ, 2005.

85. Подушка, С. Б. Межнерестовые интервалы у осетровых (*Asipenseridae*) / С. Б. Подушка // Вестник Ассоциации «Росохотрыболовсоюз». – 1999. – № 3. – С. 113–123.

86. Поляков, А. Д. Интродуценты в решении проблем сибирского рыбоводства / А. Д. Поляков, Г. Т. Бузмаков // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 5. – С. 47–49.

87. Пономарев, С. В. Фермерская аквакультура: рекомендации / С. В. Пономарев, Л. Ю. Лагуткина, И. Ю. Киреева. – Москва : Росинформграпотех, 2007.

88. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И. Ф. Правдин. – Москва : Пищевая промышленность ; Ленинград, Ленинградский гос. ун-т, 1966.

89. Росрыболовство: России к 2030 г необходимо выйти на производство 180 тонн черной икры. – 2017. – Режим доступа: <http://fish.gov.ru/press-sentr/obzor-smi/18657-rosrybolovstvo-rossii-k-2030-g-neobkhdimo-vyjti-na-proizvodstvo-180-tonn-chnoj-ikry>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

90. Сенникова, В. Д. Биохимические и гематологические показатели крови девяти-и одиннадцатилетков веслоноса, выращенных в прудовых хозяйствах Беларуси / В. Д. Сенникова, С. И. Докучаева, В. Б. Сазанов // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / под общ. ред. В. Ю. Агееца. – Минск, 2014. – Вып. 30. – С. 129–137.

91. Сенникова, В. Д. Гематологические характеристики веслоноса старшего возраста, выращенного в условиях рыбхозов Беларуси / В. Д. Сенникова // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2012. – № 28. – С. 161–166.

92. Сенникова, В. Д. Сравнительная характеристика гематологических показателей сеголеток веслоноса и ленского осетра / В. Д. Сенникова, С. И. Докучаева // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2015. – № 31. – С. 110–116.

93. Слободяник, В. С. Морфофункциональная характеристика тканей и органов нового объекта аквакультуры – веслоноса американского / В. С. Слободяник, С. М. Сулейманов, А. С. Карнишина, Е. В. Колпаносова // Материалы II отчетной научной конференции за 2013 год. – Воронеж, 2014. – 47 с.

94. Субботкин, М. Ф. Изменчивость трансферринов и её роль в аквакультуре осетровых рыб / М. Ф. Субботкин, Т. А. Субботкина. – Москва : ВНИРО, 2006. – С. 57–60.

95. Тарасенко, А. А. Общие заболевания для карпа и веслоноса при содержании в поликультуре / А. А. Тарасенко // Проблемы зооинженерии та ветеринарної медицини. – 2013. – № 27 (1). – С. 112–118.

96. Тлеуж М. Г. О заболевании веслоноса при его индустриальном выращивании / М. Г. Тлеуж, Т. А. Яковчук // Экологические и функциональные основы адаптации гидробионтов : тез. докл. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 69–70.

97. Харчук, Ю. Разведение рыбы, раков и домашней птицы / Ю. Харчук. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 16 с.

98. Чебанов, М. С. Результаты эксперимента по управлению сезонностью размножения веслоноса / М. С. Чебанов, М. Х. Тлеуж, Э. А. Савельева // Труды КрасНИИРХ. – Краснодар, 1996.

99. Шаповалова, Т. А. Состояние красной крови предличинок, личинок и мальков веслоноса (*Polyodon spathula* Walbaum) / Т. А. Шаповалова // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2005. – № 3. – С. 89–92.

100. Шестерин, И. С. Инструкция по химическому анализу воды прудов / И. С. Шестерин, Т. Л. Розова, Л. А. Богданова, И. В. Глазачева, Э. В. Иванов. – Москва : ВНИИПРХ, 1984.

101. Шихшабекова, Б. И. Некоторые данные развития пастбищной аквакультуры в современных условиях водоемов рд / Б. И. Шихшабекова, Е. М. Алиева, С. К. Муталлиев, Д. М. Шихшабекова, Н. Г. Газибеков // Наука и образование в инновационном развитии АПК. Дагестанский ГАУ – Махачкала, 2020. – С. 197–202.

102. Шленкина, Т. М. Влияние трекрезана на структуру лейкоцитарной формулы крови клариевых сомов при выращивании в бассейновой аквакультуре / Т. М. Шленкина, Е. М. Романова, В. Н. Любомирова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (47). – С. 100–105.

103. Шумеева, Р. Р. Развитие полустоловых клеток крови в мезонефросе веслоноса в мальковый период / Р. Р. Шумеева, О. В. Ложниченко // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 72–75.

104. Элнакиб, М. А. Изменение массы самок веслоноса *Polyodon spathula* (Wallbaum) за периоды зимовки и летнего нагула в прудах / М. А. Элнакиб, А. З. Анохина // Состояние водных биологических ресурсов и аквакультуры Казахстана и сопредельных стран : сб. науч. тр. – Алматы, 2019. – С. 580–585.

105. Элнакиб, М. А. Оценка сроков первого созревания и межнерестовых интервалов самок веслоноса (*Polyodon spathula walbaum*, 1792), созревших в прудовых условиях / М. А. Элнакиб, К. Ш. Сакетова, Л. М. Васильева // Инновации и научные достижения в агропромышленных технологиях и агробизнесе. – Астрахань, 2020. – С. 59–63.

106. Элнакиб, М. А. Прогнозная оценка потенциальной репродуктивной функции самок веслоноса (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792), отдавших икру для пищевых целей / М. А. Элнакиб, Л. М. Васильева, Н. В. Судакова // XIV Международная конференция молодых ученых НАСЭЕ, посвященная 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета и 10-летию совместной деятельности РГГМУ и НАСЭЕ (26–28 октября 2021 г., РГГМУ, г. Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2021. – С. 17–21.

107. Элнакиб, М. А. Результаты исследования рыбоводно-биологических и гематологических показателей самок веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792), созревших в прудовых условиях Астраханской области / М. А. Элнакиб, Н. В. Судакова, Л. М. Васильева, Г. Ш. Сакетова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2021. – № 4 (183). – С. 69–79.

108. Элнакиб, М. История развития и современное состояние карповодства в Египте / М. Элнакиб, Л. М. Васильева, А. З. Анохина // Естественные науки. – 2018. – № 3. – С. 28–39.

109. Элнакиб, М. Предпочитаемые и доступные группы кормовых организмов, потребляемые личинками веслоноса / М. А. Элнакиб, Л. М. Васильева // Биоразнообразие, рациональное использование биологических ресурсов и биотехнологии. – Астрахань, 2021. – С. 290–293.

110. Элнакиб, М. Современное состояние аквакультуры веслоноса, ограничения и перспективы развития в мире и России: краткий обзор / М. А. Элнакиб, Л. М. Васильева, Н. В. Судакова, А. З. Анохина // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – Т. 16, № 1 (192). – С. 8–19.

111. Ahmed, I. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review / I. Ahmed, Q. M. Reshi, F. Fazio // Aquac. Int. – 2020. – Vol. 28. – P. 869–899.

112. Ayers, R. S. Water quality for agriculture. Rome (Italy): Food and Agricultural Organization (FAO) / R. S. Ayers, D. W. Westcott // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper 29. – 1994. – Rev. 1.

113. Bagenal, T. B. Age and growth / T. B. Bagenal // Methods Assess. fish Prod. fresh waters. – 1978. – P. 101–136.

114. Bagenal, T. B. Eggs and early life history / T. B. Bagenal, E. Braum // Methods Assess. fish Prod. Freshwaters / ed. T. B. Bagenal. – Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1978.

115. Bemis, W. E. An overview of Acipenseriformes / W. E. Bemis, E. K. Findeis, L. Grande // Sturgeon Biodivers. Conserv. V, Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, Netherlands. – 1997. – Vol. 445. – P. 25–71.

116. Bettoli, P. W. Status of paddlefish in the United States / P. W. Bettoli, J. A. Kerns, G. D. Scholten // Paddlefish Manag. Propagation, Conserv. 21st century Build. from. – 2009. – Vol. 66 (20). – P. 23–37.

117. Boyd, C. E. General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds / C. E. Boyd // Fish diseases. – Elsevier, 2017. – P. 147–166.

118. Bullis, R. A. Clinical pathology of temperate freshwater and estuarine fishes / R. A. Bullis // Fish Med. WB Sanders Co. – Philadelphia, 1993. – P. 232–239.

119. Carlander, K. D. Handbook of Freshwater Fishery Biology / K. D. Carlander // Ames, Iowa / J. L. Campbell, O. K. Pedersen. – 1969. – Vol. 1. – P. 52–58.

120. Dillard, J. G. The paddlefish: status, management, and propagation / J. G. Dillard, L. K. Graham, T. R. Russell // American Fisheries Society, North Central Division, Spec. Publ. 7, Bethesda, MD, eds. – 1986. – 159 p.

121. El Sayed, S. M. An integrated water quality assessment of Damietta and Rosetta branches (Nile River, Egypt) using chemical and biological indices / S. M. El Sayed, M. H. Hegab, H. R. A. Mola, N. M. Ahmed, M. E. Goher // Environ. Monit. Assess. – 2020. – Vol. 192 (4). – P. 1–16.

122. Ellis, A. The leucocytes of fish: a review / A. Ellis // J. Fish Biol. – 1977. – Vol. 11 (5). – P. 453–491. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04140.x1>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

123. Elnakeeb, M. A. Control modeling on environmental stress responses of paddlefish (*Polyodon spathula*, acipenseridae) breeding in southern regions of Russia / M. A. Elnakeeb, L. M. Vasilyeva, N. S. Maltseva // Информационные технологии и технологии коммуникаций: современные достижения : мат-лы

четвертой Междунар. науч.-конф. (Астрахань, 05–08 октября 2020 г.). – Астрахань : АГТУ, 2020. – С. 19.

124. Elnakeeb, M. A. Evaluate the metabolism responses of cultured paddlefish, *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792), towards some ecological stressors in the Volga-Caspian basin using fuzzy modeling control / M. A. Elnakeeb, L. M. Vasilyeva, V. N. Sudakova, Z. A. Anokhina, A. G. A. Gewida, M. Alagawany, M. A. E. Naiel // Adv. Anim. Vet. Sci. – 2021a. – Vol. 9 (6). – P. 773-786. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.6.773.786>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (МБД Scopus).

125. Elnakeeb, M. A. Influences of feeding habitat and age composition on the growth patterns, length-frequency and gut contents in maternal paddlefish *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792) / M. A. Elnakeeb, L. M. Vasilyeva, V. N. Sudakova, Z. A. Anokhina, A. G. A. Gewida // Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries. – 2020. – Vol. 24 (5). – P. 361-374. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21608/EJABF.2020.106609>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (МБД Scopus).

126. Elnakeeb, M. A. Paddlefish, *Polyodon spathula*: Historical, current status and future aquaculture prospects in Russia / M. A. Elnakeeb, L. M. Vasilyeva, V. N. Sudakova, Z. A. Anokhina, A. G. A. Gewida, M. S. Amer, M. A. E. Naiel // International Aquatic Research. – 2021b. – Vol. 13 (2). – P. 89–107. – Режим доступа: <https://doi.org/10.22034/IAR.2021.1920885.1129>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (МБД Scopus & Web of Science).

127. Finch, C. E. Longevity, senescence, and the genome / C. E. Finch. – University of Chicago Press, 1994.

128. GAFRD. General authority for fish resources development, Report on fish production. – Cairo, Egypt, 2010.

129. GAFRD. General authority for fish resources development, Report on fish production. – Cairo, Egypt, 2017.

130. GAFRD. General authority for fish resources development, Report on fish production. – Cairo, Egypt, 2018.

131. Gulland, J. A. The fish resources of the ocean. West Byfleet, Surrey / J. A. Gulland // Fishing News (Books) / Ltd. for FAO. – 1971. – P. 15–16.

132. Holden, M. J. Manual of fisheries science. Part 2-Methods of resource investigation and their application / M. J. Holden, D. F. S. Raitt // Doc. Tech. FAO sur les Pech. (FAO) – Documentos Tec. la Fao sobre la Pesca. – 1974. – P. 115–211.

133. Hupfeld, R. N. Mississippi River Basin paddlefish population dynamics: Implications for the management of a highly migratory species / R. N. Hupfeld, Q. E. Phelps, S. J. Tripp, D. P. Herzog // Fisheries. – 2016. – Vol. 41 (10). – P. 600–610.

134. Kramer, N. Exploitation of paddlefish *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792) in the Mississippi River / N. Kramer, Q. Phelps, S. Tripp, D. Herzog // J. Appl. Ichthyol. – 2019. – Vol. 35 (1). – P. 355–359. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/jai.136171>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

135. Lein, G. M. Paddlefish in the Alabama River drainage: population characteristics and the adult spawning migration / G. M. Lein, D. R. Devries // *Trans. Am. Fish. Soc.* – 1998. – Vol. 127 (3). – P. 441–454.

136. Mehanna, S. F. Sustainable development of Bardawil lagoon fisheries / S. F. Mehanna // *First Regional Symposium on Sustainable Small-Scale Fisheries.* – 2013. – P. 27–30.

137. Mims, S. D. Paddlefish aquaculture / S. D. Mims, W. L. Shelton. – 2015. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/97811190603761>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

138. Mims, S. D. Production of paddlefish / S. D. Mims, W. L. Shelton, F. S. Wynne, R. J. Onders. – Southern Regional Aquaculture Center, 2000.

139. Modrá, H. Comparison of differential leukocyte counts in fish of economic and indicator importance / H. Modrá, Z. Svobodová, J. Kolářová // *Acta Vet. Brno.* – 1998. – Vol. 67 (4). – P. 215–226.

140. Needham, R. G. Spawning of paddlefish induced by means of pituitary material / R. G. Needham // *Progress. Fish-Culturist.* – 1965. – Vol. 27 (1). – P. 13–19.

141. Othman, A. A. Quality assessment of surface water using the Nile Chemical Pollution Index (NCPI) and microbiological pollution of the Rosetta Branch (Nile River, Egypt) / A. A. Othman, A. D. G. Al-Afify, A. M. Abdel-Satar, M. F. Ramadan // *African J. Aquat. Sci.* – 2021. – Vol. 46 (2). – P. 129–141.

142. Petrie-Hanson, L. American paddlefish leukocytes demonstrate mammalian – like cytochemical staining characteristics in lymphoid tissues / L. Petrie-Hanson, A. E. Peterman // *J. Fish Biol.* – 2005. – Vol. 66 (4). – P. 1101–1115. – Режим доступа: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00668.x1>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

143. Pitcher, T. J. A numerical integration method for fish population fecundity / T. J. Pitcher, P. D. M. MacDonald // *J. Fish Biol.* – 1973. – Vol. 5 (4). – P. 549–553.

144. Purkett Jr, C. A. Reproduction and early development of the paddlefish / C. A. Purkett Jr // *Trans. Am. Fish. Soc.* – 1961. – Vol. 90 (2). – P. 125–129. – Режим доступа: [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/15488659\(1961\)90\[125:RAEDOT\]2.0.CO;21](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/15488659(1961)90[125:RAEDOT]2.0.CO;21), ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

145. Reed, B. C. Growth, fecundity, and mortality of paddlefish in Louisiana / B. C. Reed, W. E. Kelso, D. A. Rutherford // *Trans. Am. Fish. Soc.* – 1992. – Vol. 121 (3). – P. 378–384. – Режим доступа: [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/15488659\(1992\)121<0378:GFAMOP>2.3.CO;21](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/15488659(1992)121<0378:GFAMOP>2.3.CO;21), ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

146. Scarnecchia, D. L. Life history and the costs of reproduction in northern Great Plains paddlefish (*Polyodon spathula*) as a potential framework for other Acipenseriform fishes / D. L. Scarnecchia, L. F. Ryckman, Y. Lim, G. J. Power, B. J. Schmitz, J. A. Firehammer // *Rev. Fish. Sci.* – 2007. – Vol. 15 (3). – P. 211–263. – Режим доступа: <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/106412607014869811>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.



147. Shaalan, M. Aquaculture in Egypt: Insights on the Current Trends and Future Perspectives for Sustainable Development / M. Shaalan, M. El-Mahdy, M. Saleh, M. El-Matbouli // *Rev. Fish. Sci. Aquac.* – 2018. – Vol. 26 (1). – P. 99–110. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.13586961>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

148. Simpson, A. C. The fecundity of the plaice (*Pleuronectes platessa*) in the North Sea / A. C. Simpson // *Fish. Invest., Ser. II.* – 1951. – Vol. 22 (7). – P. 1–111.

149. Soliman, N. F. Aquaculture in Egypt: status, constraints and potentials / N. F. Soliman, D. M. M. Yacout // *Aquac. Int.* – 2016. – Vol. 24 (5). – P. 1201–1227. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9989-91>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

150. Vasilyeva, L. M. Comparative assessment of the seasonal breeding patterns of the paddlefish *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792) and the impact of growth tendency during winter and summer feeding / L. M. Vasilyeva, M. A. Elnakeeb // *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries.* – 2019. – Vol. 23 (4). – P. 335–346. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21608/EJABF.2019.56783>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (МБД Scopus).

151. Webb, M. A. H. A practical guide for assigning sex and stage of maturity in sturgeons and paddlefish / M. A. H. Webb, J. P. Van Eenennaam, J. A. Crossman, F. A. Chapman // *J. Appl. Ichthyol.* – 2019. – Vol. 35 (1). – P. 169–186. – Режим доступа: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jai.135821>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

152. Wootton, R. Ecology of teleost fishes / R. Wootton. – London: Chapman & Hall, 1990. – 404 p.

153. Zelazowska, M. The nests of synchronous oocytes in the ovaries of the North American paddlefish (*Polyodon spathula*) and the Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) (Chondrostei, Acipenseriformes) / M. Zelazowska, W. Jankowska, W. Tworzydło // *Acta Biol. Cracoviensia. Ser. Bot. Suppl.* – 2010. – Vol. 52 (1).

154. Zigler, S. J. Biology and life history of paddlefish in North America: an update / S. J. Zigler // *American Fisheries Society Symposium.* – 2009. – Vol. 66 (1). – P. 1–22.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021618270

**«Модель вывода нечеткой логики для прогнозирования  
уровней метаболизма веслоноса на основе гидрохимических  
параметров в водных системах прудов» (A fuzzy logic model  
for predicting of paddlefish metabolic levels based on  
hydrochemical parameters in fishpond aquatic-systems)**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Астраханский государственный университет" (Астраханский  
государственный университет) (RU)*

Авторы: *Васильева Лидия Михайловна (RU), Элнакиб Махмуд  
Абдулла (EG)*

Заявка № **2021617384**

Дата поступления **04 мая 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **25 мая 2021 г.**



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*