



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

*ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА*

(бакалаврская работа)

На тему Сравнительный анализ гидрохимических показателей качества воды  
различных хозяйств по выращиванию арктического гольца *Salvelinus alpinus*

(Linneaus, 1758)

**Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура, профиль**

**«Управление водными биоресурсами и аквакультура»**

**Исполнитель**

Никитина Милана Николаевна

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель**

Кандидат технических наук, доцент

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

Королькова Светлана Витальевна

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Кандидат технических наук

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

Королькова Светлана Витальевна

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025г.

Санкт–Петербург

2025

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ .....	6
1.1. Систематическое положение и внутривидовое разнообразие .....	6
1.2. Общая биология вида .....	7
1.2.1. История возникновения .....	7
1.2.2. Морфология.....	8
1.2.3. Жизненный цикл и размножение .....	9
1.2.4. Область распространения.....	13
1.2.5. Влияние различных факторов среды на исследуемый объект.....	14
1.3. Аквакультура вида .....	15
1.3.1. История и современное состояние аквакультуры .....	15
1.3.2. Основные виды деятельности.....	16
1.3.3. Цели аквакультуры .....	17
Глава 2. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	17
2.1. Рыбопитомник Рудица.....	17
2.1.1. Общие сведения о хозяйстве .....	17
2.1.2. Отбор проб .....	20
2.1.3. Проведение исследований .....	21
2.2. ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод».....	39
2.2.1 Общие сведения о хозяйстве .....	39
2.2.2. Отбор проб .....	41
2.2.3. Проведение исследований .....	42
2.3. Рыбопитомник в Ленинградской области .....	42
2.3.1. Общие сведения о хозяйстве .....	42
2.3.3. Проведение исследований .....	44
Глава 3. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ .....	46
3.1. Анализ и интерпретация результатов .....	46
3.2. Формирование выводов и заключений.....	49
3.3. Разработка рекомендаций на основе полученных данных.....	50

Заключение .....	53
Приложение .....	60
Терминологический словарь .....	65

## Введение

До последнего времени развитию рыбоводства в России отводилась второстепенная роль источника пищевого сырья, что определило слабое развитие отечественной аквакультуры, не соответствующее её потенциальным возможностям. Однако, в последние годы решению этой проблемы уделяется всё больше внимания, поэтому отрасль можно назвать динамично развивающейся. Одной из возможных перспектив развития является расширение видового разнообразия выращиваемых гидробионтов.

Данная работа посвящена исследованию такого ценного объекта аквакультуры как арктических голец. Эту рыбу даже называют «самой полезной в мире» за высокое содержание полезных жирных кислот в мясе. Однако в аквакультуре она всё ещё считается нетрадиционным объектом культивирования и на данный момент у нас в стране не выращивается, за исключением совсем небольшого количества хозяйств в северных регионах. Именно поэтому исследование арктического гольца, а также дальнейшая разработка биотехнологии его выращивания является очень важной темой для современной аквакультуры России. Достигнуть прогресса в этом вопросе, не проводя мониторинг гидрохимических показателей качества воды, которая используется хозяйствами по выращиванию данного водного объекта, не представляется возможным, что, в свою очередь, объясняет актуальность выбранной темы.

Цель данной работы: на основании данных литературных источников и результатов практической работы на хозяйствах по выращиванию арктического гольца и его подвидов выявить и сравнить величины ключевых показателей качества воды, влияющих на выращивание выбранного гидробионта.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

1. подобрать литературные источники по выбранной теме и изучить их, на основе полученных данных определить значимые гидрохимические показатели;

2. отобрать пробы воды в хозяйствах, занимающихся выращиванием арктического гольца, и провести сравнительный анализ значимых показателей;
3. сравнить полученные результаты и сделать выводы;
4. предложить свои рекомендации по совершенствованию работы в этой сфере.

Объектом проводимого исследования является вода, полученная из хозяйств. Предметом – полученные в ходе самостоятельного проведения анализов гидрохимические показатели качества воды.

В ходе исследования будут применены следующие методы: анализ литературы и классификация полученных сведений, эксперимент и измерение, сравнение и прогнозирование.

Практическую значимость данной выпускной квалификационной работы составляет возможность применять разработанные рекомендации при работе на хозяйстве по выращиванию рассматриваемого водного объекта.

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, 1 таблицы, 28 рисунков. Список литературы включает 42 наименования. Общий объём работы – 62 страницы.

Содержание выпускной квалификационной работы.

Первая глава работы посвящена рассмотрению общих биологических характеристик выбранного гидробионта – арктического гольца.

Вторая глава содержит информацию о методиках отбора проб и проведения лабораторных исследований, а также полученные в ходе опытов результаты.

В третьей главе проводится обработка полученных результатов и разработка рекомендаций.

## Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Систематическое положение и внутривидовое разнообразие

Исследуемый объект занимает следующее положение в систематике:

Надцарство: Эукариоты (Eukaryota) Chatton, 1925, 1937/1938, Chadeffaud, 1960.

Царство: Животные (Animalia) Linnaeus, 1758.

Подцарство: Эуметазои или настоящие многоклеточные (Eumetazoa) Butschli, 1910.

Раздел: Двусторонне-симметричные, билатеральные (Bilateria) Hatschek, 1888.

Клада: Нефрозоя (Nephrozoa) Jondelius et al., 2002.

Подраздел: Вторичноротые (Deuterostomia) Grobben, 1908.

Тип: Хордовые (Chordata) Bateson, 1885.

Клада: Черепные (Craniata) Lankester, 1877.

Подтип: Позвоночные (Vertebrata) S.F.Gray, 1821.

Надкласс: Челюстноротые (Gnathostomata) Gegenbaur, 1874.

Клада: Эвгнатостоматы (Eugnathostomata).

Надкласс: Костистые позвоночные (Osteichthyes) Huxley, 1880.

Класс: Лучеперые рыбы (Actinopterygii) Klein, 1885.

Подкласс: Новоперые рыбы (Neopterygii) Regan, 1923.

Инфракласс: Костистые рыбы (Teleostei) J.P. Müller, 1845.

Надотряд: Protacanthopterygii.

Отряд: Лососеобразные (Salmoniformes).

Семейство: Лососевые рыбы (Salmonidae) Regan, 1914.

Подсемейство: Лососевые (Salmoninae).

Род: Гольцы (*Salvelinus*) (Nilsson) Richardson, 1832.

Вид: Голец арктический (*Salvelinus alpinus*) Linnaeus, 1758 [25].

Систематика рода *Salvelinus* представляет значительные сложности из-за высокой внутривидовой изменчивости и выраженного полиморфизма. Современные подходы к изучению их систематики и филогении базируются на данных молекулярно-генетических исследований. Одним из первых таких исследований стала работа П. Бруннера и его коллег, в которой была

проанализирована структура митохондриальной ДНК (мтДНК) 83 популяций гольцов. В результате были выделены пять филогенетических групп, которые ещё не достигли уровня видовой самостоятельности [22; 5; 17].

К последним относится альпиноидная группа *S. alpinus*, которую ранее на основе морфологических признаков разделяли на множество видов, включая девять, обитающих на территории России: палию *S. lepechini*, боганидскую *S. boganidae* (Berg, 1926), есейскую *S. tolmachoffi* (Berg, 1926), нейву *S. neiva* (Taranez, 1933), гольцов Черского *S. czerskii* (Drajagin, 1932), Дрягина *S. drjagini* (Logashev, 1940), Таранца *S. taranetzi* (Kaganowsky, 1955), якутского *S. jacuticus* (Borisov, 1932) и таймырского *S. taimyricus* (Michin, 1949). Все эти формы вместе с проходным арктическим гольцом рассматриваются как часть сложного комплекса *S. alpinus complex* [2; 22; 5; 17].

Молекулярно-генетические исследования показали, что альпиноидная группа состоит из трёх крупных филогенетических подгрупп: акадийской, сибирской и атлантической, причём сибирская и атлантическая подгруппы наиболее близки друг к другу [22; 5]. В состав альпиноидной группы входят ранее выделявшиеся в качестве самостоятельных видов ладожская, боганидская и есейская палии, голец Дрягина, таймырский голец и даватчан *S. alpinus erythrinus* (Georgi, 1775). Гольцы Таранца, Черского и, вероятно, нейва относятся к другой группе, арктоидной, которая ещё не достигла уровня видового обособления [17].

## 1.2. Общая биология вида

### 1.2.1. История возникновения

Род *Salvelinus* обособился от предковой группы лососёвых около 16–25 млн лет назад (конец олигоцена — начало миоцена) в районе Северной Пацифики и восточной части Арктического бассейна. Активная дивергенция гольцов началась примерно 5,3 млн лет назад и протекала в условиях глобальных климатических изменений. Обособление предковой группы, от которой произошли альпиноидные гольцы, произошло 400–700 тыс. лет назад (в период Небрасского и Канзасского оледенений) в районе моря Бофорта, которое в то

время превратилось в водоём с сильно опреснённой водой, окружённый осушенными шельфами. Окончательное формирование альпиноидной группы произошло в водоёмах Сибири во время климатического экстремума (оледенения) около 130–200 тыс. лет назад [17].

Во время климатических экстремумов отдельные популяции гольцов сохранялись в приледниковых рефугиумах, где происходило аллопатрическое образование новых форм. После отступления ледников эти популяции расселялись, продвигаясь на запад по вновь образованным гидрологическим системам, часто смешиваясь с другими группами. В период валдайского оледенения (11-80 тыс. лет назад) часть популяций альпиноидной группы сохранялась в перигляциальном озере Коми (современный бассейн реки Печоры) и позднее — в рефугиуме на территории Северного Прионежья. После дегляциации альпиноидные гольцы расселились по водным объектам Северо-Запада [17].

Первым научным описанием арктического гольца считается работа Карла Линнея, опубликованная в 1758 году в его труде «Systema Naturae». Изначально Линней дал этому виду название *Salmo alpinus*, однако впоследствии оно было изменено, и вид был отнесен к роду *Salvelinus* [17].

### 1.2.2. Морфология

Как и для остальных лососевых, для арктического гольца характерно тело веретеновидной формы, наличие жирового плавника и своеобразная окраска: серебристого цвета тело, тёмная спинка и бело-оранжевые крупные пятна на боках, которые в период нереста становятся ярче («брачный наряд»).

К морфологическим особенностям арктического гольца также можно отнести мелкую чешую (из-за её размера он выглядит голым, отсюда и название), верхнюю челюсть, выходящую у взрослых особей за задний край глаза, белые лучи грудных, брюшных и анального плавников. На челюстях, костях нёба и языка, а также на сошнике есть мелкие зубы.

В качестве примера приводится плавниковая формула, характерная для ладожской палии: спинной плавник (D) имеет III–V жёстких лучей и 9–11

мягких, анальный плавник (А) — III–V лучей и 8–11 мягких лучей, грудной плавник (Р) — I луч и 10–13 мягких лучей, брюшной плавник (V) — II луча и 9–10 мягких лучей. Количество чешуй в боковой линии варьируется от 114 до 160. Число жаберных тычинок составляет 20–30, позвонков — 62–66, а пилорических придатков — от 32 до 52 [2].

Темпы линейно-весаго роста арктического голяца могут быть различными даже в пределах одного водного объекта. Если голец рано переходит на хищный образ жизни, то темп роста быстрый, при питании бентосом – нормальный, мелким бентосом и зоопланктоном – замедленный, возраст полового созреваниe ранний и продолжительность жизни небольшая. Таких голецов называют «карликовыми». Генетически это не закрепляется, в потомстве этих особей встречаются все вышеперечисленные формы [1].

В Сибири голец достигают длины 110 см и массы 15 кг. Продолжительность жизни обычно составляет 12–20 лет, однако зарегистрированы случаи, когда особи достигали возраста 32 лет [18].

Внешний вид арктического голяца представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – внешний вид арктического голяца (фото Фредерика Бромса) [21].

### *1.2.3. Жизненный цикл и размножение*

Половое созреваниe наступает у самцов в три года, а у самок в четыре-восемь лет в зависимости от их размера. Абсолютная плодовитость самок также зависит от их размера. Таким образом, у карликовых форм она составляет от 12 до 431 икринок, у крупных особей от 149 до 11960 икринок. Значения относительной плодовитости более стабильны и составляют 0,7-4 икр/г массы тела, то есть в среднем 1,4-3 у разных популяций. Стоит отметить, что в северной части ареала этот показатель выше [1].

Арктические гольцы бывают полупроходные (крупнее других форм), озёрно-речные и озёрные. Жилые формы – реликты ледниковой эпохи, уходят на юг гораздо дальше. Гольцы, как правило, заходят в эстуарии преимущественно для откорма, проводя там не более двух месяцев, после чего возвращаются обратно в озеро. Толерантность к солёности у них низкая [15].

Нерест растянут по времени и у разных популяций проходит с июня, после освобождения озера ото льда, по октябрь при температуре воды не более +4,5-6,5°C. Основная масса гольцов нерестится в озёрах. Нерест происходит в профундальной зоне на глубине 25-58 м и, возможно, глубже. Субстрат песчано-галечный [18]. Икра палии жёлтого цвета, неклеякая, диаметром до 4,9 мм, в среднем около 6,28 мм [16]. Производители откладывают икру компактными кладками, находясь непосредственно у дна. Показатель оплодотворения обычно довольно низкий – 40-60% [20]. У этого есть несколько причин.

- Такие особенности нерестового поведения, как асинхронный репродуктивный цикл, что может приводить к снижению эффективности оплодотворения.
- Снижение качества половых продуктов на фоне связанных с нерестовой миграцией нагрузок или ограниченности пищевых ресурсов в месте обитания. Кроме того известно, что самцы рассматриваемой системы видов обладают сравнительно низкими репродуктивными качествами. Например, у самцов ладожской палии *Salvelinus lepechini* (Gmelin, 1788) – озёрной формы арктического гольца – обладают в 4-9 раз (1,4 см<sup>3</sup>) меньшим объёмом эякулята, чем представители рода настоящих лососей *Salmo*, и в 2,5-3 раза меньшей концентрацией спермотазоидов [19].
- Механические повреждения икры о твёрдый субстрат.
- Конкуренция и хищничество, выражающееся в поедании кладок другими видами рыб (например, налимом *Lota lota* (Linnaeus, 1758)) [20].

Общая продолжительность эмбрионального периода составляет 4-5 месяцев. После завершения процесса набухания диаметр икры ладожской палии может

достигать 7,1 мм, тогда как на стадии развития средний диаметр икры составляет 6,28 мм. На этапе морулы бластодиск характеризуется минимальным диаметром и максимальной высотой, однако в процессе бластуляции он уплощается и к началу гастрюляции приобретает асимметричную форму. В одном из участков бластодиска образуется полость, которая на ранних стадиях органогенеза в ходе эпиболии отделяется от зачатка тела эмбриона и преобразуется в перибластический синус (см. Прил. Рис. 1) [16].

Первые сегменты тела эмбриона появляются, когда бластодерма покрывает 20–35% поверхности желтка; к моменту, когда эпиболия достигает 65–80%, количество сегментов увеличивается до 5–7. Замыкание желточной пробки происходит при образовании 16–22 сегментов тела и формировании слуховых капсул. Когда число сегментов достигает 35–39, в слуховых капсулах образуются полости, а глазные везикулы трансформируются в глазные бокалы. На этом этапе под телом эмбриона формируется зародышевый пузырь, характерный для лососёвых, внутри которого образуется сердечная трубка [16].

Сокращения сердечной трубки начинаются, когда количество сегментов тела эмбриона достигает 44–50 или более (см. Прил. Рис. 2).

Подвижные форменные элементы крови появляются при образовании 63 сегментов. Пигментация глаз начинается на ранних стадиях васкуляризации желточного мешка. Когда степень васкуляризации его поверхности достигает примерно 25%, кровь начинает поступать к желточному мешку по кишечно-желточной и печёчно-кишечной венам. При достижении диаметра свободной от сосудов области под головой эмбриона примерно 2 мм на его спине появляются меланофоры. После завершения васкуляризации кровь в сосудах приобретает красный цвет, усиливается пигментация глаз, а меланофоры становятся заметны на голове [16].

При достижении эмбрионом длины 14 мм жаберные крышки полностью закрывают две жаберные дуги, а также выделяется спинной плавник. При

температуре 8,9 °С на этой стадии уже наблюдаются слабые движения жаберно-челюстного аппарата и грудных плавников; если же развитие икры происходило при температуре около 3,1 °С, движения зародыша становятся заметными несколько позже, непосредственно перед началом выклева [16].

Согласно данным исследований, сроки выклева предличинок существенно зависят от температуры воды. При температуре 3,1 °С выклев начинается через 112 дней и завершается через 139 дней после оплодотворения икры. При повышении температуры до 6,0 °С эти сроки сокращаются до 63–65 дней (начало) и 73–75 дней (окончание), а при 8,9 °С — до 52 дней и 58 дней соответственно [16].

На момент вылупления у предличинок в среднем насчитывается 62–63 сегмента тела, жаберная крышка полностью закрывает четыре жаберные дуги, а зачаток брюшных плавников располагается примерно на середине длины анальной плавниковой каймы. Длина тела предличинок составляет 15–19 мм. После выклева предличинки ведут малоподвижный образ жизни; подвижность и отрицательный фототаксис появляются, когда резорбция желточного мешка достигает 30–35% [16].

Переход к смешанному питанию также зависит от температуры воды: при 8,0 °С он начинается через 25 дней после выклева, а при 1,3 °С — через 70 дней. В естественных условиях температура воды обычно ниже, и к началу экзогенного питания она может не превышать 1,0 °С [**Error! Reference source not found.**]. К моменту перехода на смешанное питание длина тела личинок достигает 26–29 мм. На этом этапе они частично утрачивают отрицательный фототаксис и начинают держаться в толще воды [**Error! Reference source not found.**]. Полностью на внешнее питание личинки переходят при достижении длины более 31 мм. Основу рациона личинок составляют организмы зоопланктона, а молодь палии питается преимущественно реликтовыми ракообразными, такими как *M. affinis*, *P. quadrispinosa* и *Mysis relicta* (Loven, 1862). В дальнейшем молодь переходит на питание мелкой рыбой [1].

Стадии развития на примере палий представлены на рисунке 3 в Приложении.

#### *1.2.4. Область распространения*

Ареал обитания гольцов считается циркумполярным, так как он охватывает арктические и бореальные регионы. Например, в Европе проходные формы этих рыб мигрируют из морских вод в реки для нереста. Их ареал простирается от западного побережья Норвегии и Кольского полуострова до реки Кара и водных артерий Новой Земли. Однако в Белом и Балтийском морях проходные гольцы отсутствуют, а также они не заходят на нерест в реки Мезень и Печора [1; 22].

Также ареал обитания гольцов включает северо-восточную часть Северной Америки. В России проходная форма арктического гольца обитает вдоль побережья Северного Ледовитого океана, начиная от западных границ страны и заканчивая бассейном реки Лена. Жилые формы данного вида встречаются южнее зоны распространения проходной формы, преимущественно в бассейнах рек Яна и Индигирка, а также на северо-востоке от озера Байкал. Восточная граница ареала атлантической подгруппы проходит по реке Хатанга. На рисунке 7 представлены границы ареалов филогенетических подгрупп гольцов [22].

Что касается пресноводных форм, то они обитают в водоемах Европейской части, включая озера Альп, Англии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Карелии, Кольского полуострова, а также в реках Кожим и Большая Сыня в Республике Коми и озерах Полярного Урала. Эти рыбы встречаются в природных зонах тундры, тайги и горных районах [1].

Границы ареалов филогенетических подгрупп альпиноидных гольцов показаны на рисунке 2.

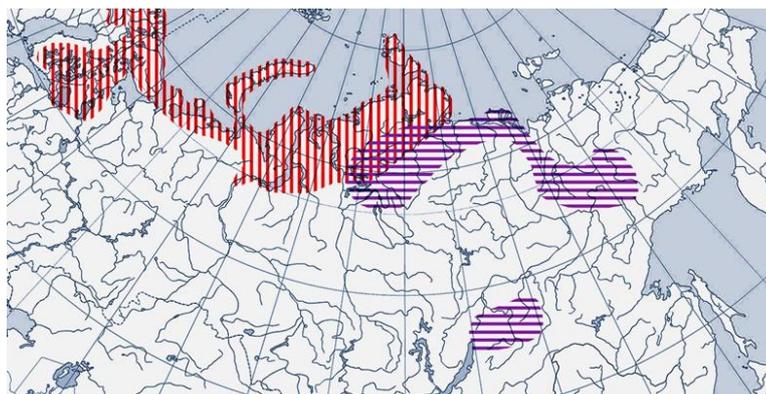


Рис. 2. Ареалы атлантической (отмечен вертикальной штриховкой) и сибирской (горизонтальная штриховка) филогенетических подгрупп альпиноидных гольцов [22].

#### 1.2.5. Влияние различных факторов среды на исследуемый объект

Понятно, что условия содержания гидробионтов при их выращивании в искусственно созданных условиях должны быть близки по значению к тем, с которыми данный вид сталкивается в естественной среде обитания. А в условиях интенсивного развития аквакультуры изучение влияния различных факторов среды на выращиваемые гидробионты приобретает особую актуальность. Искусственно созданные условия, в которых содержатся объекты аквакультуры, требуют тщательного контроля и регулирования параметров окружающей среды для обеспечения оптимального роста, развития и здоровья организмов. В данном подпункте рассматриваются ключевые факторы, которые оказывают существенное влияние на физиологическое состояние и продуктивность гидробионтов как в естественной среде, так и в условиях аквакультуры. Понимание механизмов воздействия этих факторов позволяет разрабатывать эффективные стратегии управления производственными процессами, минимизировать риски и повышать рентабельность аквакультурных предприятий.

- Температура. Это один из важнейших физических показателей, характеризующих направление и скорость химических процессов, протекающих в воде. Максимально эффективный рост арктического

гольца в условиях аквакультуры наблюдается при температурах ниже +7-8°C.

- Прозрачность. Гольцы предпочитают относительно холодные водоёмы с чистой, прозрачной водой и высоким содержанием растворённого кислорода.
- Солёность. Наилучший рост происходит при солёности 20‰. Толерантность гольцов к солёности можно оценить как низкую.
- Кислород. На входе в бассейн количество кислорода в воде должно составлять более 8,9 мг/л и более 7,45 мг/л на оттоке. Насыщение воды кислородом должно быть всегда выше 80%.
- Углекислый газ. Рекомендуемый уровень содержания углекислого газа в воде при выращивании арктического гольца составляет менее 10 мг/л при щёлочности ниже 100 мг/л и менее 15 мг/л при более высокой щёлочности.
- Уровни аммония. Безопасные уровни содержания аммиака, нитритов и нитратов при аквакультуре арктического гольца всё ещё остаются неизвестными, поэтому в этом вопросе ориентируются на опыт выращивания атлантического лосося, для которого уровень аммиака в воде не должен превышать 0,015 мг/л при содержании в пресной воде, а нитрит ниже 0,2 мг/л.
- Водородный показатель. Оптимальная область значений находится между 6,5 и 8,5 [12; 15].

Стоит отметить, что по типу питания арктический голец является хищником, причём список жертв достаточно разнообразен (тресковые, бычковые, мойва, песчанка, ракообразные и др.) [7].

### ***1.3. Аквакультура вида***

#### *1.3.1. История и современное состояние аквакультуры*

Арктический голец издавна был важным объектом промысла для коренных народов Севера. Однако промышленное рыбоводство этого вида началось только во второй половине XX века.

Разработка технологий выращивания арктического гольца стартовала в 1970-х годах в скандинавских странах и Канаде. Уже первые опыты по его выращиванию продемонстрировали хорошие результаты, что подтвердило перспективность этого вида для аквакультуры. Рост популярности красной рыбы в конце XX века способствовал активному развитию рыбоводства гольца. В Скандинавии этот процесс ускорился благодаря внедрению морского садкового метода в 1990-х годах. Дополнительным фактором, подтолкнувшим многие хозяйства к переходу на гольца, стали участвовавшие случаи заболеваний у лосося и форели при интенсивном выращивании. Сегодня гольца разводят во всех скандинавских странах, а также в Великобритании, Канаде и Австрии. Эксперименты по его производству ведутся даже в таких странах, как Италия и Чили. К 2014 году мировой объём производства достиг 10 тысяч тонн в год. Исландия занимает лидирующие позиции в этой отрасли, ежегодно выращивая около 3,2 тысячи тонн арктического гольца [1; 15].

### *1.3.2. Основные виды деятельности*

В Исландии большая часть производства арктического гольца сосредоточена на прибрежных фермах, где используется солоноватая вода с постоянной температурой благодаря геотермальным источникам. На начальном этапе молодь выращивают до веса 50–70 грамм в пресноводных наземных хозяйствах, после чего её переводят либо в наземные установки, где можно контролировать такие параметры, как температура, солёность и продолжительность светового дня, либо в садки [15].

В Швеции арктического гольца преимущественно разводят в садках, установленных в малопродуктивных пресноводных реках, которые потеряли своё естественное состояние из-за строительства гидроэлектростанций. В таких условиях возможности контроля над внешними факторами ограничены, однако себестоимость производства ниже, чем на наземных фермах. При этом и в Швеции, и в Исландии действуют современные селекционные центры, где ведутся работы по выведению пород гольца с определёнными характеристиками [15].

### *1.3.3. Цели аквакультуры*

Как говорилось ранее, арктический голец эволюционно приспособлен к суровым условиям полярных регионов, поэтому этот вид обладает значительным потенциалом для становления товарного рыбоводства на Севере. Выращивание молоди на рыбоводных заводах, а также формирование маточных стад производителей в искусственных условиях с использованием генетических методов управления технологией рыбоводства открывает возможности не только для производства деликатесной продукции, но и для восстановления численности естественных популяций.

Арктический голец отличается высокой экологической пластичностью, образуя разнообразные формы (экотипы). Это позволяет проводить поиск наиболее перспективных популяций в природных водоёмах и использовать их для гибридизации с целью достижения эффекта гетерозиса и выведения быстрорастущих пород. Такие особенности делают арктического гольца уникальным объектом для селекционной работы, что подчёркивает его важность для аквакультуры и сохранения биоразнообразия.

Согласно всему вышеперечисленному, цели мероприятий по аквакультуре арктического гольца могут быть сформулированы следующим образом:

- распространение производства арктического гольца как ценного объекта выращивания (деликатеса);
- развитие генетических методов управления, применимых в рыбоводстве, с помощью арктического гольца из-за его высокой экологической пластичности;
- воспроизводство, восстановление численности естественных популяций.

## **Глава 2. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### *2.1. Рыбопитомник Рудица*

#### *2.1.1. Общие сведения о хозяйстве*

Хозяйство расположено в посёлке Лопухинка Ломоносовского района Ленинградской области. Его строительство началось в конце 1970-х годов и

сразу было связано с рыбохозяйственными целями. Сейчас хозяйство специализируется на выращивании арктического гольца и ладожской палии. Арктический голец реализуется как в качестве рыбопосадочного материала, так и в товарном виде, поэтому здесь можно обнаружить и мальков, и годовиков, и двухгодовиков. Ладожская палия выращивается до компенсационных навесок, которые составляют 30-50 г.

Местоположение хозяйства на карте приведено на рисунке 3, а фото местности на рисунке 4.

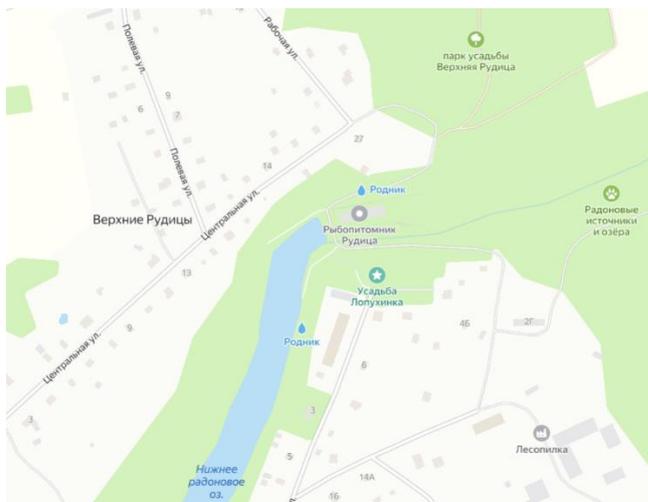


Рис. 3. Рыбопитомник Рудица на карте [26].



Рис. 4. Фото рыбопитомника Рудица (фото из архива автора).

Здесь же расположены озёра Верхнее, Среднее и Нижнее, подпитка которых осуществляется радоновыми источниками, выходящими на этой территории на поверхность. Также здесь находится источник реки Лопухинка. Забор воды хозяйство проводит из Среднего и Нижнего радоновых озёр с помощью сложной системы водоподачи (рис. 5).



Рис. 5. Водозабор из Нижнего озера (фото из архива автора).

Водоподготовки и фильтрации нет, так как вода считается достаточно чистой. Исключение составляет вода, подаваемая в инкубаторы, так как перед этим она всё-таки проходит через барабанный фильтр. Это делается для того, чтобы икра не залёживалась в иле. Рыба здесь выращивается в бассейнах. Помимо этого, в состав рыбопитомника входят следующие элементы:

- цех инкубации и выдерживания личинок (рис. 6);



Рис. 6. Выдерживание личинок арктического гольца в инкубационных аппаратах лоткового типа (фото из архива автора).

- цех дальнейшего выращивания (рис. 7 и 8);



Рис. 7. Цех дальнейшего выращивания арктического гольца (фото из архива автора).



Рис. 8. Бассейн с годовиками арктического гольца (фото из архива автора).

- три ветви уличных бассейнов на прилегающей территории (рис. 4);
- склад кормов (вся рыба на производстве питается кормами АКІМА);
- мастерская;
- жилые помещения.

Кроме того, хозяйство содержит собственное маточное стадо арктических гольцов (рис. 9).



Рис. 9. Маточное стадо арктического гольца (фото из архива автора).

#### 2.1.2. Отбор проб

По словам работников предприятия, физические и химические показатели качества воды во всех бассейнах одинаковы. Забор воды для лабораторных

исследований был произведён на входе в бассейн, в котором содержатся годовики арктического гольца.

Руководством к отбору проб служили требования ГОСТ Р 51592-2000 "Вода. Общие требования к отбору проб" [30], а также методики выполнения конкретных исследований.

Отбор осуществлялся как в стеклянную посуду с навинчивающейся крышкой, так и в бутылки из полимерных материалов. Все они были заранее подготовлены: тщательно промыты водопроводной, а затем дистиллированной водой. Непосредственно перед отбором проб, посуда была ополоснута отбираемой водой.

Всего было отобрано 3 л воды. Посуда для отбора проб была заполнена до краёв и герметично закрыта. Консервация не проводилась. Все анализы были проведены в течение 24 ч с момента отбора.

### *2.1.3. Проведение исследований*

Запах. Он появляется при наличии летучих пахнущих веществ в воде, которые могут как образовываться в результате процессов жизнедеятельности водных организмов или химическом взаимодействии компонентов, содержащихся в воде, так и поступать из вне. Вид, интенсивность и устойчивость запаха может свидетельствовать о загрязнении воды.

Этот показатель, а также прозрачность (светопропускание) были проанализированы по методике измерения температуры, прозрачности и определения запаха воды, изложенной в руководящем документе РД 52.24.496-2018.

Определение запаха основано на органолептической оценке его характеристики и интенсивности при температуре +20°C и +60°C. Сначала 250 см<sup>3</sup> анализируемой воды было помещено в коническую термостойкую колбу для доведения её температуры до +20°C (рис. 10). После колба была закрыта стеклянной пробкой и несколько раз взбалтывалась. Затем колба была открыта и сразу же определялся характер запаха и его интенсивность. Запах отсутствовал. То же самое было проделано после доведения температуры

пробы до  $+60^{\circ}\text{C}$  на водяной бане с закрытым с помощью часового стекла горлышком колбы, запах также отсутствовал. Таким образом, качественная оценка запаха – отсутствует, количественная – 0 баллов [41].



Рис. 10. Нагревание пробы в термостойкой колбе на плите KITFORT КТ 131 для проведения анализа на запах (фото из архива автора).

Измерение прозрачности выполнялось с использованием цилиндра Снелла, вертикально установленного в штативе, и стандартного шрифта, размещённого на расстоянии 4 см от дна цилиндра (рис. 11 и 12).

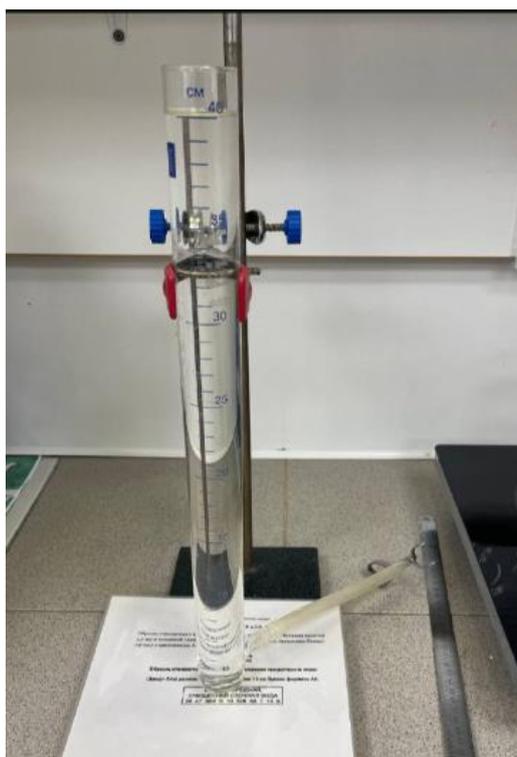


Рис. 11. Измерение прозрачности с помощью цилиндра Снелла (фото из архива автора).



Рис. 12. Стандартный шифр сквозь столб воды исследуемой пробы (фото из архива автора).

Проба энергично взбалтывалась в течение 2 мин и сразу же помещалась в цилиндр Снелла до верхней отметки. Измерение было выполнено повторно три раза, прозрачность воды в исследуемой пробе составила 40,0 см [41].

Цветность. Этот показатель обусловлен содержанием в воде окрашенных частиц органического или минерального происхождения и влияет на прозрачность воды.

Анализ цветности был проведён согласно ПНД Ф 14:1:2:3:4.207-04. Профильтрованная с помощью вакуумной фильтровальной установки (рис. 13) проба была помещена в кювету с толщиной оптического слоя 50 мм (рис. 15).

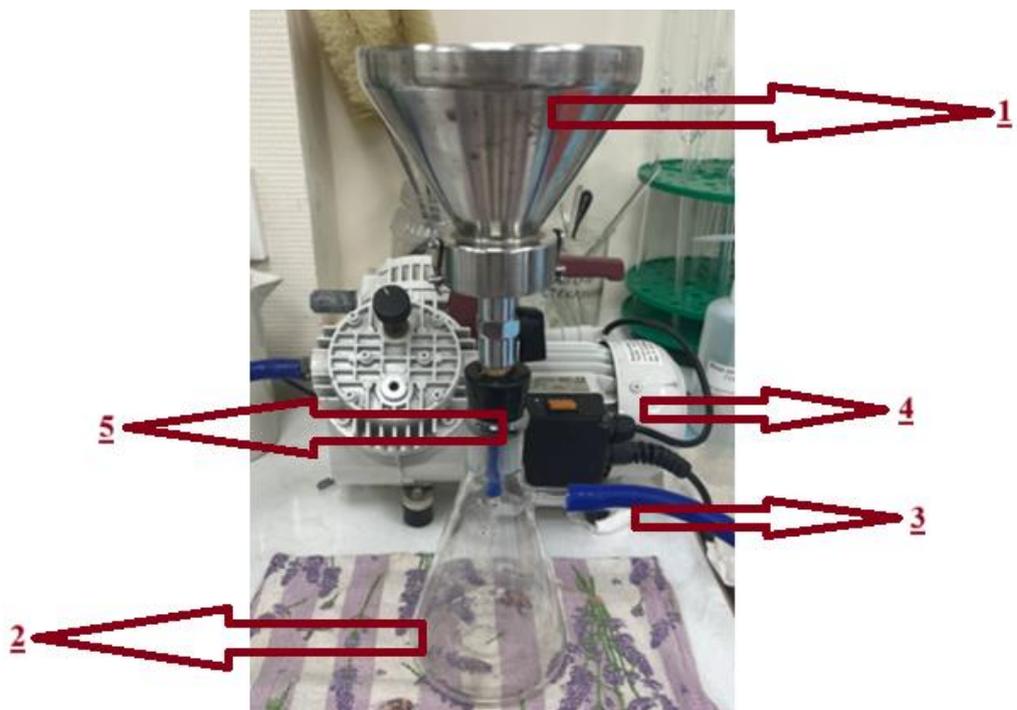


Рис. 13. Вакуумная фильтровальная установка: 1 – воронка Бюхнера; 2 – колба Бунзена; 3 – партрубок; 4 – насос вакуумный мембранный SM 16612; 5 – герметизирующее уплотнение (пробка). Внутри находится мембрана Владипор МФАС из ацетатов целлюлозы (рис. 14) (фото из архива автора).



Рис. 14. Мембраны Владипор МФАС из ацетатов целлюлозы [24].

Измерения оптической плотности проходили при установленной на спектрофотометре ПЭ-5400УФ (рис. 14) длине волны 413 нм по отношению к дистиллированной воде. Величина цветности была определена по градуировочному графику, который уже был построен для используемого прибора, и составила 12° по результатам двух параллельных определений [35].



Рис. 15. Спектрофотометр ПЭ-5400УФ и кювета с толщиной оптического слоя 50 мм (фото из архива автора).

Мутность. Этот показатель обусловлен наличием в воде взвешенных веществ как органической, так и неорганической природы, и также влияет на прозрачность воды.

Исследование мутности было выполнено в соответствии с ПНД Ф 14:1:2:3:4.207-04 турбидиметрическим методом. Тщательно перемешанная испытуемая проба была помещена в кювету с толщиной оптического слоя 50 мм. Измерения оптической плотности проходили на том же спектрофотометре ПЭ-5400УФ (рис. 15) при длине волны 520 нм по отношению к профильтрованной испытуемой воде, взятой в качестве фона, так как цветность пробы выше 10°. Мутность пробы была найдена по соответствующей градуировочной характеристике (по формазину) и составила 0,000 ЕМФ [36].

рН. От этой величины зависит скорость протекания различных химических реакций. Определение водородного показателя в данном исследовании проводилось по методике ПНД Ф 1:2:3:4.121-97. Применяемый метод – потенциометрический – основан на измерении электродвижущей силы электронной системы, состоящей из стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов, и вспомогательного электрода сравнения с известным потенциалом [31]. Анализируемая проба объёмом 30 см<sup>3</sup> была помещена в химический стакан объёмом 50 см<sup>3</sup>. Электроды рН-метра 150МИ были промыты дистиллированной водой и пробой, а затем погружены в стакан с анализируемой пробой так, чтобы шарик стеклянного измерительного электрода был полностью под водой, а солевой контакт вспомогательного электрода был погружён на 5-6 мм. Результат исследования был зафиксирован, когда показания прибора перестали изменяться более, чем на 0,2 единицы в течение одной минуты. Было получено значение 7,60 ед. рН (рис. 16). Спустя минуту опыт был проведён ещё раз. Значение составило 7,62 ед. рН. Полученные значения отличаются меньше, чем

на 0,2, поэтому результатом исследования считается их среднее арифметическое – 7,61 ед. рН.

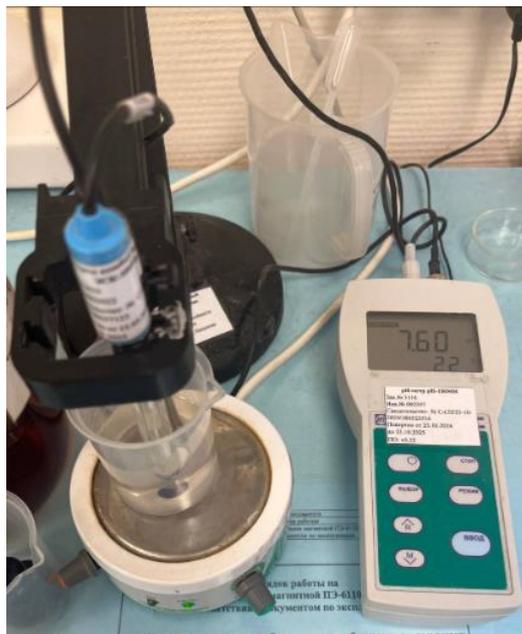


Рис. 16. Измерение значения рН на рН-метре 150МИ (фото из архива автора).

Перманганатная окисляемость. Это показатель характеризует количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием раствора перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ) при нагревании в кислой среде.

Анализ проводился согласно титриметрической методике ПНД Ф 1:2:3:4.154-99. В колбу было помещено  $100 \text{ см}^3$  хорошо перемешанной пробы и стеклянные шарики, затем было добавлено  $5 \text{ см}^3$  разбавленной в соотношении 1:3 серной кислоты и  $10 \text{ см}^3$  раствора перманганата калия ( $0,002 \text{ моль/дм}^3$ ). Смесь была нагрета так, что закипела не позднее чем через 5 минут, и кипятилась 10 минут [**Error! Reference source not found.**] (рис. 17).



Рис. 17. Процесс проведения анализа на перманганатную окисляемость (фото из архива автора).

После этого к горячему раствору немедленно было добавлено 10 см<sup>3</sup> щавельной кислоты (0,005 моль/дм<sup>3</sup>) для обесцвечивания. Обесцвеченную горячую смесь сразу титровали раствором перманганата калия (0,002 моль/дм<sup>3</sup>) до появления слабо-розового окрашивания [33].

Одновременно проводилось холостой определение с использованием 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды [33].

Значение перманганатной окисляемости, выраженное в расчёте на атомарный кислород в мг/дм<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \cdot K \cdot C \cdot 8 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot K_p}{V},$$

где:

$V_1$  – объём раствора перманганата калия, израсходованного на титрование исследуемой пробы, г/см<sup>3</sup>;

$V_2$  – объём раствора перманганата калия, израсходованного на титрование холостой пробы, г/см<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к раствору перманганата калия;

$C$  – концентрация раствора перманганата калия, равная 0,002 моль/дм<sup>3</sup>;

$V$  – объём пробы, взятой для анализа;

$K_p$  – коэффициент разбавления пробы

5 – стехиометрический коэффициент [33].. Тогда:

$$X = \frac{(1,31 - 0,38) \cdot 0,98 \cdot 0,002 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot 1}{100} = 0,73 \text{ мгО/дм}^3.$$

Щёлочность. Это показатель количественной оценки свойств водной среды реагировать с ионами водорода. Различают общую и свободную щёлочность. Общая обусловлена содержанием в пробе гидрокарбонат-ионов, карбонат-ионов и гидроксид-ионов. Свободная – содержанием гидроксид-ионов и половины содержания карбонат-ионов. Анализ на определение щёлочности был проведен по ГОСТ 31957 методом А.1.

Согласно результатам проведённых ранее исследований, исходное значение рН в анализируемой воде 7,63, что менее 8,3. Свободная щёлочность в таком случае принимается равной нулю, так как такой показатель рН свидетельствует об отсутствии в воде гидроксидов и карбонатов [28].

Для определения общей щёлочности в стакан вместимостью 100 см<sup>2</sup> было внесено 50 см<sup>2</sup> анализируемой воды, после чего началось титрование раствором соляной кислоты молярной концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> при постоянном перемешивании до достижения значения рН (4,50±0,05) ед. рН (рис. 18).



Рис. 18. Определение щёлочности методом титрования (фото из архива автора).

Объём раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование, составил 5,74 см<sup>3</sup>. Далее общая щёлочность была найдена по формуле:

$$A_T = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_3 \cdot 1000}{V_1},$$

где:

$c(\text{HCl})$  – точная молярная концентрация раствора соляной кислоты, 0,05 моль/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – объём анализируемой пробы воды, взятый для титрования, см<sup>3</sup>;

$V_3$  – объём раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование до pH 4,5, см<sup>3</sup> [Error! Reference source not found.]. Тогда:

$$A_T = \frac{0,05 \cdot 5,74 \cdot 1000}{50} = 5,74 \text{ ммоль/дм}^3.$$

Электропроводность. Этот показатель характеризует способность среды проводить электрический ток [13]. Эта способность зависит от концентрации и подвижности ионов в растворе. Прибор для измерения этой величины

называется кондуктометр. Для проведения данного исследования была использована модель GLP 31 «CRISON» (рис.19). Перед началом работы необходимо подготовить электроды. Для этого нужно проверить их целостность и промыть дистиллированной водой, так как трещины и загрязнения искажают результат. После этого можно приступать к проведению измерения. Для этого надо поместить анализируемую воду в химический стакан и погрузить в него электроды. Далее следует нажать ENT и ожидать появления результата измерения на экране. Для данной пробы он составил 532  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Рис. 19. Определение электропроводности на кондуктометре GLP 31 «CRISON» (фото из архива автора).

Сухой остаток. Опыт был проведён по методике ПНД Ф 1:2:3:4.261-10. Метод исследования – гравиметрический. Он основан на выпаривании аликвотной части профильтрованной анализируемой пробы воды полученного остатка при температуре  $(105\pm 2)^\circ\text{C}$  и его взвешивании [37].

Для проведения анализа было взято 500  $\text{cm}^3$  и профильтровано через фильтр «синяя лента». Затем мензуркой проба была перенесена в подготовленную (подготовка заключалась в промывании раствором соляной

кислоты массовой доли 6%, затем дистиллированной водой, просушивании на воздухе и прокаливании в сушильном шкафу при  $(600\pm 20)^\circ\text{C}$ ) фарфоровую чашку на  $\frac{3}{4}$  объёма и выпаривалась на водяной бане в вытяжном шкафу досуха. По мере упаривания пробы оставшаяся вода постепенно прибавлялась [37].

После выпаривания внешняя поверхность чашки с сухим остатком была тщательно вытерта фильтровальной бумагой и помещена в сушильный шкаф, нагретый до  $(105\pm 2)^\circ\text{C}$ , где высушивалась в течение трёх часов. Затем сухой остаток был охлаждён в эксикаторе до температуры окружающей среды и взвешен. Взвешивание повторялось до достижения постоянной массы, то есть до тех пор, пока разница между двумя последовательно полученными результатами не была больше 0,0005 г. Вес чашки с высушенным остатком составил 88,2790 г. Массовая концентрация сухого остатка была вычислена по формуле:

$$X_c = \frac{(M_1 - M_2)}{V} \cdot 10^6,$$

где:

$M_1$  – масса чашки с высушенным остатком, г;

$M_2$  – масса пустой чашки, г;

$V$  – аликвотная часть пробы воды,  $\text{см}^3$ ;

$10^6$  – коэффициент пересчёта единиц измерения  $\text{г}/\text{см}^3$  в  $\text{мг}/\text{дм}^3$  **[Error!**

**Reference source not found.]**

Тогда:

$$X_c = \frac{(88,2790 - 88,1371)}{500} \cdot 10^6 = 283,8 \text{ мг}/\text{дм}^3.$$

Химическое потребление кислорода (ХПК). Этот показатель говорит о степени загрязнения воды веществами, способными вступать в окислительные реакции. Методика проведения анализа содержится в документе ПНД Ф 1:2:3:4.190-03. Метод измерения ХПК основан на обработке пробы воды серной кислотой и бихроматом калия при температуре  $(150\pm 5)^\circ\text{C}$ , в присутствии

катализатора окисления – сульфата серебра и при добавлении сульфата ртути (II) [34].

Одновременно было проанализировано две аликвоты пробы воды (параллельные пробы) и перед их отбором проба была тщательно перемешана [34].

Аликвоты воды объёмом 2 см<sup>3</sup> были помещены в стеклянные виалы, заполненные реагентом, приготовленным из смеси бихромата калия с раствором сульфата серебра в серной кислоте и раствора сульфата ртути (II) [34].

Виалы были плотно закрыты завинчивающимися крышками, а раствор перемешан. Затем виалы были помещены в термореактор, предварительно нагретый до +150°C, и выдержаны в течение 2 часов, а затем охлаждены в вытяжном шкафу. Ещё через 20 минут содержимое виал было перемешано и охлаждено до комнатной температуры [34].

Перед измерением наружные поверхности стеклянных виал были протёрты сначала слегка увлажнённой, затем сухой салфеткой. Виала с исследуемым раствором была помещена в кюветное отделение анализатора [34].

Значение ХПК в пробе вычисляют по формуле:

$$X = C_{\text{изм}} \cdot Q,$$

где:

$C_{\text{изм}}$  – значение ХПК, измеренное анализатором, мгО/дм<sup>3</sup>;

$Q$  – коэффициент разбавления пробы (проба не разбавлялась,  $Q = 1$ )

**[Error! Reference source not found.]**

Значение ХПК в данной пробе составил <5 мгО/дм<sup>3</sup>, что ниже предела количественного определения методики [34].

Биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>). Этот показатель служит некоторой условной мерой загрязнения вод органическими соединениями. Методика выполнения анализа установлена документом РД 52.24.420-2019. Метод основан на измерении массовой концентрации

растворённого кислорода, потребляемого пробой воды в течение 5 сут инкубации при стандартных условиях: 20°C, без доступа воздуха и света [40].

Так как проба не содержит визуально заметного количества взвешенных веществ, то для проведения анализа был отобран 1,0 дм<sup>3</sup>. Этот объём был помещён в коническую колбу вместимостью 2 дм<sup>3</sup>. Затем при помощи водяной бани её температура была доведена до +20°C. Значение рН исследуемой воды – 7,61 ед. рН – находится в допустимом интервале (6-9 ед. рН), его контроль был выполнен по универсальной индикаторной бумаге [40].

Далее температура пробы была доведена до +20°C на водяной бане. Контроль температуры пробы проводился при помощи термометра. Затем проба была насыщена кислородом путём интенсивного встряхивания тары в течение 10 минут, а после завершения этой процедуры оставлена на 5 мин для удаления избытка воздуха (до отсутствия поднимающихся к поверхности мелких пузырьков [40].

Далее три сухие кислородные склянки были наполнены исследуемой водой до краёв так, чтобы внутри не было пузырьков воздуха. В одной из заполненных склянок массовая концентрация кислорода была определена сразу с помощью анализатора растворённого кислорода. Для этого в склянку с пробой воды был помещён перемешивающий элемент и кислородный датчик, уплотнённый в горле склянки с помощью резинового кольца, установленного на измерительную часть датчика. Далее склянка была установлена на магнитную мешалку со скоростью вращения перемешивающего элемента 5 см/сек, так как в неподвижной анализируемой среде значения датчика медленно бы падали. После этого анализатор был включён, и массовая концентрация кислорода измерена в соответствии с руководством по эксплуатации. Такой метод регистрации результата называется амперометрическим [40].

Затем колба была закрыта пробкой так, чтобы под ней не оставалось пузырьков воздуха, и помещена в термостат при температуре (20±2)°C, где выдерживалась в течение 5 суток (120±4) ч. По истечении этого срока определение неизрасходованного кислорода было выполнено повторно [40].

Содержание кислорода в пробе воды составило  $0,58 \pm 0,08$  мг/дм<sup>3</sup>. Это значительно ниже установленного методикой минимального порога (1 мг/дм<sup>3</sup>), что говорит о низком уровне загрязнения воды легкоокисляемой органикой.

Анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ). Этот показатель демонстрирует присутствие в воде таких химических соединений, которые концентрируются на поверхности раздела термодинамических фаз и характеризуются наличием анионных групп в своей структуре. Данный анализ был проведен в соответствии с ПНД ф 1:2:3:4.15-95.

В ходе анализа 100 см<sup>3</sup> пробы было помещено в делительную воронку объёмом 250 см<sup>3</sup>, затем к нему было добавлено 10 см<sup>3</sup> фосфатного буферного раствора (рН = 10) и 5 см<sup>3</sup> нейтрального раствора метиленового синего. Содержимое воронки было перемешано и выдержано в течение 15 минут, после чего туда было добавлено 8 см<sup>3</sup> хлороформа. Смесь энергично встряхивалась в течение 1 мин, а затем 1 мин отстаивалась до полного разделения слоёв. Затем хлороформный экстракт был перелит в другую делительную воронку, в которую заранее было добавлено 110 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 5 см<sup>3</sup> кислого раствора метиленового синего. После этого в первую воронку было добавлено ещё 5 см<sup>3</sup> хлороформа, смесь взбалтывалась в течение 1 мин и хлороформный экстракт так же был слит во вторую делительную воронку. Третья экстракция была проведена аналогично с добавлением 4 см<sup>3</sup> хлороформа. Затем содержимое второй воронки встряхивалось в течение 1 мин, а потом было оставлено до полного разделения слоёв. После этого экстракт был слит в пробирку через воронку с кусочком ваты для отделения мути. Измерение оптической плотности проходило в кювете с толщиной оптического слоя 30 мм при длине волны 650 нм. Раствором сравнения служил хлороформ [32].

Массовая концентрация АПАВ рассчитывалась по формуле:

$$X = \frac{a \cdot 100}{V},$$

где:

$a$  – массовая концентрация анионных поверхностно-активных веществ, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>;

100 – объём, до которого доводится проба;

$V$  – объём пробы, взятый для анализа, см<sup>3</sup> [32].

В данной пробе значения массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ невозможно определить по градуировочному графику, так как их содержание оказалось ниже допустимого предела (<0,01 мг/дм<sup>3</sup>).

Жёсткость. Этот показатель связан с содержанием в воде растворов щелочноземельных металлов, в первую очередь кальция, магния и железа. Его исследование было выполнено согласно ПНД Ф 1:2:3:4.98-97. Этот метод измерения жёсткости основан на титровании пробы воды раствором динатриевой соли этилендиамина тетрауксусной кислоты (трилон Б) в присутствии индикатора эрихрома чёрного Т, в результате чего при рН около 10 образуются комплексные соединения трилона Б с ионами кальция и магния, которые вытесняют индикатор, комплекс которого окрашен в вишнёво-красный цвет, а в свободной форме имеет голубую окраску [39].

Объём аликвоты пробы воды для измерений был выбран исходя из предполагаемой величины жёсткости (от 4 до 10, °Ж) и составил 100 см<sup>3</sup>. Предположение основано на значении удельной электропроводности исследуемой воды, которое было определено в 532 µS/см [39].

В коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> пипеткой с одной меткой был отмерен выбранный объём аликвоты, то есть 100 см<sup>3</sup>. Затем в колбу было добавлено 5 см<sup>3</sup> буферного раствора и 70 мг порошка индикатора. Проба была перемешана и оттитрована раствором трилона Б до перехода окраски из вишнёво-красной в голубую [39].

Общую жёсткость анализируемой воды находят по формуле:

$$X = \frac{2 \cdot C_{TP} \cdot V_{TP} \cdot 1000}{V},$$

где:

$C_{\text{тр}}$  – концентрация раствора трилона Б, моль/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{тр}}$  – объём раствора трилона Б, пошедшего на титрование пробы, см<sup>3</sup>;

$V$  – объём пробы воды, взятой для определения, см<sup>3</sup>;

$Z$  – коэффициент пересчёта концентрации раствора трилона Б (моль/дм<sup>3</sup>)

в жёсткость (°Ж). Тогда:

$$X = \frac{2 \cdot 0,010 \cdot 34,6 \cdot 1000}{100} = 6,92 \text{ °Ж.}$$

Ионы аммония. Метод исследования – фотометрический. Его проведение утверждено документом ПНД Ф 1:2:3:4.262-10 и основано на взаимодействии ионов аммония с тетрамеркуратом калия в щелочной среде с образованием коричневого нерастворимого в воде соединения – основания Миллона, переходящее в коллоидную форму жёлтого цвета при малых содержания ионов аммония [38].

Устранять мешающие влияния нет необходимости, так как в анализируемой пробе отсутствуют значительные концентрации аминов, хлораминов, ацетона, альдегидов, спиртов и других соединений, вступающих в реакцию с реактивом Несслера. Показания жёсткости и мутности также невысокие [38].

В ходе проведения исследования к 50 см<sup>3</sup> анализируемой воды была добавлена 1 капля раствора сегнетовой соли и 1 см<sup>3</sup> реактива Несслера. После добавления каждого компонента смесь тщательно перемешивалась. Через 10 минут после этого на спектрофотометре ПЭ-5400УФ было проведено измерение оптической плотности при длине волны 425 нм в кювете с длиной поглощающего слоя 50 мм. Фоном служит безаммиачная вода [38].

Содержание ионов аммония в поверхностной пресной воде вычисляют по формуле:

$$X = \frac{C \cdot 50 \cdot n}{V},$$

где:

C – содержание ионов аммония, найденное по калибровочному графику, мг;

V – объём пробы, взятой для анализа, см<sup>3</sup>;

n = 1 при прямом определении ионов аммония. Тогда:

$$X = \frac{0,096 \cdot 50 \cdot 1}{50} = 0,096 \text{ мг/дм}^3.$$

Для перерасчёта на азот аммонийный это значение было умножено на коэффициент 0,777 (отношение молярных масс азота и аммония). Результат: 0,075 мг/дм<sup>3</sup>.

Нитриты. Стандарт, согласно которому проводилось исследование, - ГОСТ 33045-2014 метод Б. Он устанавливает фотометрический метод определения содержания нитритов с использованием сульфаниловой кислоты в присутствии 1-нафтиламина с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения с последующим фотометрическим определением и расчётом массовой концентрации нитритов в исследуемой пробе [29].

К 50 см<sup>3</sup> исследуемой пробы было прибавлено 2 см<sup>3</sup> раствора реактива Грисса. После перемешивания проба была выдержана в течение 40 мин при комнатной температуре. Затем на спектрофотометре ПЭ-5400УФ была измерена оптическая плотность анализируемой пробы. Длина волны составила 425 нм, кювета использовалась с толщиной поглощающего слоя 50 мм. Раствор сравнения – дистиллированная вода. Массовая концентрация в пробе исследуемой воды была рассчитана по формуле:

$$X = \frac{K \cdot A \cdot V_K \cdot f}{V},$$

где:

K – коэффициент градуировочной характеристики, рассчитанный по формуле (1) из методики, мг/(дм<sup>3</sup>·ед. опт. пл.);

A – измеренное значение оптической плотности пробы анализируемой воды за вычетом измеренного значения оптического значения холостой пробы, ед. опт. пл.);

$V_K$  – вместимость мерной колбы, использованной при подготовке пробы анализируемой воды для измерения (в данном случае равен  $50 \text{ см}^3$ ),  $\text{см}^3$ ;

$f$  – коэффициент разбавления пробы анализируемой воды (проба не разбавлялась, следовательно он был принят равным 1);

$V$  – объём аликвоты пробы, взятой для анализа,  $\text{см}^3$ . Полученное значение концентрации нитритов в анализируемой пробе находится ниже границы диапазона измерений, регламентированного используемой методикой ( $<0,003 \text{ мг/дм}^3$ ), что свидетельствует о следовом содержании аналита.

Определение азота нитритного может быть проведено путём перерасчёта результатов анализа на нитриты (умножением на коэффициент 0,304), следовательно его содержание также следовое.

Общий фосфор и фосфор фосфатов. Анализ был проведен согласно ГОСТ 18309 метод В [27].

Значение рН пробы находится в допустимом диапазоне (4-11 ед. рН). Устранять мешающие влияния разбавлением исследуемой воды нет необходимости, так образец довольно чистый [27].

Для определения общего фосфора в термостойкую колбу была помещена аликвота анализируемой пробы ( $100 \text{ см}^3$ ), туда были добавлены  $1 \text{ см}^3$  раствора серной кислоты с массовой долей 38% и 0,4 г надсернистого аммония. Полученный раствор кипятился до тех пор, пока в колбе его не осталось примерно  $10 \text{ см}^3$ . После охлаждения к смеси была добавлена 1 капля фенолфталеина, затем по капле добавлялся раствор гидроксида натрия с массовой долей 8% до появления слабозеленой окраски. Далее раствор был обесцвечен прибавлением нескольких капель раствора серной кислоты с массовой долей 23%. После этого реакционная смесь была отфильтрована с помощью бумажного фильтра «синяя лента» в мерную колбу вместимостью  $50 \text{ см}^3$ , реакционная колба и фильтр также были ополоснуты небольшим количеством дистиллированной воды. Затем было добавлено  $5 \text{ см}^3$  смешанного реактива, приготовленного по методике в день проведения анализа. Через 15 минут при длине волны 690 нм на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ в кювете с

толщиной оптического слоя 50 мм была измерена оптическая плотность окрашенного раствора [Error! Reference source not found.]. Массовую концентрацию общего фосфора в пробе анализируемой воды находят по формуле:

$$X_p = \frac{A \cdot f}{b},$$

где:

A – измеренное значение оптической плотности пробы анализируемой воды за вычетом измеренного значения оптической плотности холостой пробы, ед. опт. пл.;

f – коэффициент разбавления пробы анализируемой воды, при этом если пробу не разбавляли, то f принимают равным 1;

b — угловой коэффициент градуировочной характеристики, (дм<sup>3</sup> ед. опт. пл.)/мг [Error! Reference source not found.].

Полученное значение оказалось ниже диапазона, утверждённого методикой (<0,025 мг/дм<sup>3</sup>) [Error! Reference source not found.].

Для определения фосфора фосфатов аликвота анализируемой пробы воды была профильтрована через фильтр «синяя лента» в мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup> с ополаскиванием реакционной колбы и фильтра. Затем было добавлено 5 см<sup>3</sup> смешанного реактива. Через 15 минут было проведено измерение оптической плотности окрашенного раствора аналогично тому, как это было описано выше. Формула расчёта использовалась та же. Результат также оказался за пределами установленных методикой границ [27].

Все полученные результаты представлены в таблице 1.

## 2.2. ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод»

### 2.2.1 Общие сведения о хозяйстве

ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод» находится в посёлке Ропша Ломоносовского района Ленинградской области. Он был сформирован в конце прошлого столетия на базе экспериментально-производственной базы «Ропша», которая была создана в 1952 г. при Всесоюзном, а с 1958 г. — Государственном

научно-исследовательском институте озёрного и речного рыбного хозяйства (ГосНИОРХ). В 1991 г. был организован Российский селекционно-генетический центр рыбоводства, через два года изменивший название на Федеральный. ФСГЦР был создан с целью организации селекционно-племенных работ в области аквакультуры, сохранения генофонда перспективных объектов и ценных промысловых рыб внутренних водоёмов страны, а также восстановление численности редких и исчезающих гидробионтов [10].

Источником водоснабжения участка ФСГЦР филиала ФГБУ «Главрыбвод», на котором осуществляется выращивание ладожской палии, являются воды Ижорского подземного месторождения, а также родниковый источник Михайловский.

ФСГЦР территориально подразделяется на три участка: Фабричный, Кировский и Мельничный. На последнем и происходит выращивание ладожской палии. С восточной стороны данного участка проходит Стрельнинское шоссе, с других расположены жилые застройки.

На территории Мельничного участка находятся два павильона и система прудов, предназначенных для водоподготовки и отстаивания сточных вод. Павильон №1 находится на севере рассматриваемого участка, там содержится ремонтно-маточное стадо (далее – РМС) ладожской палии, а также лотки для инкубации икры и выдерживания предличинок, бассейны для выращивания молоди. Павильон №2 юго-западнее первого помещения и оборудован инкубатором и тремя модулями УЗВ датского типа для подращивания мальков и молоди ладожской палии и радужной форели. На открытой площадке перед павильоном расположены модули УЗВ датского типа.

Пруды водоподготовки (Головной и Мельничный №1) находятся в северной части участка. Пруды-отстойники (Арнольда и Мельничный №2) на юго-западе, рядом с шоссе. Также на участке расположен цех, в котором раньше проходила инкубация форелевой икры, но в настоящее время он не используется.

Схема описанных выше зон предприятия представлена на рисунке 20.



Рис. 20. Схема Мельничного участка ФСГЦР (материалы источника с изменениями): 1 – Стрельнинское шоссе; 2 – павильон №1; 3 – павильон №2; 4 – внешний модуль УЗВ датского типа; 5 – Головной пруд; 6 – Мельничный пруд №1; 7 – пруд Арнольда; 8 – Мельничный пруд №2; 9 – старый форелевый инкубатор [26].

### 2.2.2. Отбор проб

Когда в процессе выращивания молодь ладожской палии достигает веса в 0,5 г, проводится её сортировка и пересадка в бассейны УЗВ павильона №1 (рис. 21 и 22)

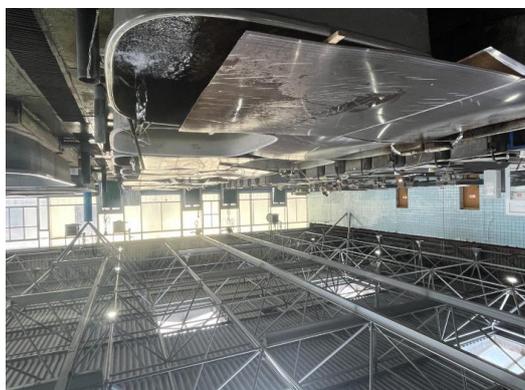


Рис. 21. Павильон №2 с УЗВ (фото из архива автора).



Рис. 22. Бассейн с мальками палии (фото из архива автора).

Из этих бассейнов и было отобрано 3 л воды аналогично тому, как это было описано в пункте 2.1.2

### *2.2.3. Проведение исследований*

Пробы воды, отобранные с данного предприятия, были проанализированы по тем же показателям и согласно тем же методикам, которые были описаны в пункте 2.1.3. Полученные результаты представлены в **таблице 1**.

## *2.3. Рыбоводство в Ленинградской области*

### *2.3.1. Общие сведения о хозяйстве*

Предприятие расположено в деревне во Всеволожском районе Ленинградской области и осуществляет коммерческое выращивание рыбопосадочного материала с его последующей реализацией, а также предоставляет услуги временного содержания малька других производителей.

На данном хозяйстве реализуется следующий производственный цикл:

1. Инкубация икры в аппаратах вертикального типа;
2. Подращивание личинок в прямоугольных рыбоводных бассейнах (рис. 23);



Рис. 23. Рыбоводные бассейны (фото из личного архива автора).

### 3. Выращивание мальков:

- Кормление специализированными стартовыми кормами (гранулы 0.3–1.2 мм).
- Сортировка по размерам (для предотвращения каннибализма).
- Реализация:
  - Продажа малька навеской 1–5 г.
  - Возможность передержки для клиентов (услуга платного содержания).

Преимущества такой системы:

- Гибкость: изоляция фильтров позволяет чистить/ремонттировать их без остановки всей УЗВ.
- Стабильность: биофильтры поддерживают низкий уровень токсичного аммиака.
- Энергоэффективность: рециркуляция воды сокращает расходы на подогрев/охлаждение.

На момент отбора проб в хозяйстве содержалось 80 тыс. мальков арктического гольца.

Водоподготовка на хозяйстве осуществляется с помощью трёх механических фильтров барабанного типа. Они соединены общей трубой, но при необходимости каждый может быть изолирован запорной арматурой.

Биологическая очистка происходит в биофильтре с плавающей загрузкой (рис.), удельная площадь поверхности которой составляет 700 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, что способствует высокой эффективности биологической очистки.

Процессы оксигенации проходят в кислородном конусе (рис.24).



Рис. 24. Кислородный конус и биологический фильтр с плавающей загрузкой (рис. 25)



Рис. 25. Пластиковая биозагрузка для фильтра [**Error! Reference source not found.**].

### 2.3.2. Отбор проб

Пробы воды были отобраны из рыбоводных бассейнов, содержащих личинок арктического гольца на этапе активного подращивания.

### 2.3.3. Проведение исследований

Пробы воды, отобранные с данного предприятия, были проанализированы по тем же показателям и согласно тем же методикам,

которые были описаны в пункте 2.1.3. Полученные результаты представлены в таблице 1.

## Глава 3. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 3.1. Анализ и интерпретация результатов

В таблице представлены обобщенные данные гидрохимических исследований трех рыбоводных хозяйств с различными источниками водоснабжения. Анализ проведен по 15 ключевым показателям, включая физико-химические, органические и биогенные параметры.

Таблица 1 – обобщённые данные гидрохимических исследований

Показатель	Рудицы	ФСГЦР	Рыбопито мник	Комментарий
Запах (РД 52.24.496-2018)	0 баллов	0 баллов	0 баллов	Исключает наличие посторонних химических или органических загрязнений
Прозрачность (РД 52.24.496-2018)	40 см	40 см	40 см	Отсутствие значительного содержания взвешенных веществ
Цветность (ПНД Ф 14:1:2:3:4.207-04)	12°	14°	16°	Соответствует естественным значениям для незагрязненных водоемов
Мутность (ПНД Ф 14:1:2:3:4.213-05)	0, 000 ЕМФ	0, 000 ЕМФ	1,1 ЕМФ	Высокая степень чистоты воды
рН (ПНД Ф 1:2:3:4.121-97)	7,61 ед. рН	7,60 ед. рН	6,0 ед. рН	Соответствует общепринятому рыбохозяйственному

				диапазону
Показатель	Рудицы	ФСГЦР	Рыбопито мник	Комментарий
Перманганатная окисляемость (ПНД Ф 1:2:3:4.154-99)	0,73 мгО/дм <sup>3</sup>	0,75 мгО/дм <sup>3</sup>	0,64 мгО/дм <sup>3</sup>	Указывает на минимальное содержание легкоокисляемых органических веществ
Щелочность (общая, ГОСТ 31957-2012)	5,74. ммоль/ дм <sup>3</sup>	6,6 ммоль/ дм <sup>3</sup>	0,70 ммоль/ дм <sup>3</sup>	1, 2: соответствует естественному уровню; 3: недостаточная буферная ёмкость
Электропроводность	532 µS/см	574 µS/см	256 µS/см	1, 2: среднее содержание растворимых веществ; 3: пониженное
Сухой остаток (ПНД Ф 1:2:3:4.261-10)	283,8 мг/дм <sup>3</sup>	321,4 мг/дм <sup>3</sup>	166 мг/дм <sup>3</sup>	1, 2: умеренная минерализация; 3: низкая минерализация
ХПК (ПНД Ф 1:2:3:4.190-03)	<5 мгО/дм <sup>3</sup>	<5 мгО/дм <sup>3</sup>	<5 мгО/дм <sup>3</sup>	Значительно ниже предельно допустимых значений
БПК <sub>5</sub> (РД 52.24.420-	<1	<1	<1	Свидетельствует

2019)	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	об отсутствии значительного количества биоразлагаемой органики, ≤ 2,1 мг/дм <sup>3</sup> [ <b>Error!</b> <b>Reference source not found.</b> ]
АПАВ (ПНД Ф 1:2:3:4.15-95)	<0, 01 мг/дм <sup>3</sup>	<0, 01 мг/дм <sup>3</sup>	<0, 01 мг/дм <sup>3</sup>	Свидетельствует об отсутствии загрязнения СПАВ
Жёсткость (ПНД Ф 1:2:3:4.98-97)	6, 92°Ж	7,75°Ж	2,0°Ж	1, 2: в пределах оптимальных значений; 3: ниже
Ионы аммония, пересчёт на азот- аммонийный (ПНД Ф 1:2:3:4.262-10)	0,096 мг/дм <sup>3</sup> , 0,075 мг/дм <sup>3</sup>	<0,05 мг/дм <sup>3</sup>	<0,05 мг/дм <sup>3</sup>	<0,5 мг/дм <sup>3</sup> [42 <b>Error!</b> <b>Reference source not found.</b> ]
Нитрит-ионы, пересчёт на азот- нитритный (ГОСТ 33045-2014)	<0,003 мг/дм <sup>3</sup>	<0,003 мг/дм <sup>3</sup>	<0,003 мг/дм <sup>3</sup>	<0,08 мг/дм <sup>3</sup> [ <b>Error!</b> <b>Reference source not found.</b> ]
Общий фосфор (ГОСТ 18309-2014)	<0,025 мг/дм <sup>3</sup>	<0,025 мг/дм <sup>3</sup>	<0,025 мг/дм <sup>3</sup>	Исключает риск эвтрофикации водоёма

Проведенные исследования воды из первого хозяйства (рыбопитомник Рудица) показали, что используемая вода характеризуется высоким

качеством и полностью соответствует нормативам для рыбохозяйственных водных объектов.

В общей характеристике воды, отобранной со второго предприятия (ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод») по результатам проведённых исследований, можно сказать следующее: вода в данном хозяйстве характеризуется высоким качеством и полностью соответствует нормативам для рыбохозяйственных водных объектов

Итог, подведённый по результатам анализа проб, отобранных из первых двух хозяйств:

1. Вода исследуемого водоема отвечает всем требованиям, предъявляемым к рыбохозяйственным водным объектам.
2. Показатели органического загрязнения (ХПК, БПК<sub>5</sub>) и биогенных элементов (азот, фосфор) находятся на минимальном уровне, что исключает риск эвтрофикации.
3. Отсутствие токсичных веществ (нитриты, АПАВ) и соответствие физико-химических показателей нормативам делают водоем благоприятным для выращивания ценных видов рыб.

Однако вода, используемая на третьем хозяйстве (рыбопитомник в Ленинградской области), требует корректировки параметров для соответствия рыбохозяйственным нормативам, а именно:

- вода требует коррекции рН и минерального состава для соответствия рыбохозяйственным нормативам;
- вода требует коррекции низких значений жёсткости и щёлочности, которые на данном уровне могут привести к нестабильности гидрохимического режима.

### *3.2. Формирование выводов и заключений*

Общие выводы по исследованию:

1. Качество воды во всех исследуемых рыбоводных хозяйствах в целом соответствует нормативам для рыбохозяйственных водоемов. Критических превышений ПДК вредных веществ не выявлено.

2. Наблюдается значительная разница в гидрохимических характеристиках между хозяйствами, обусловленная разными источниками водоснабжения (озерная вода, родниковый источник, скважинная вода).
3. Наилучшие условия для рыбоводства созданы в рыбопитомнике Рудица:
  - оптимальные показатели рН (7.61);
  - сбалансированный солевой состав;
  - отсутствие загрязнения органическими и биогенными веществами.
4. Второй рыбопитомник требует корректировки параметров воды:
  - слишком низкие значения щёлочности (важна для нитрифицирующих бактерий, которые участвуют в переработке аммиака и препятствуют накоплению токсинов) и жесткости (в мягкой воде увеличивается биодоступность тяжёлых металлов (алюминий, медь) даже при низких концентрациях.);
  - слабокислая реакция среды вызывает кислотный стресс, повышает токсичность веществ, приводит к угнетению биофильтрации;
  - недостаточная буферная емкость (опасность резкого скачка рН при изменении условий среды)

### *3.3. Разработка рекомендаций на основе полученных данных*

Можно составить следующий список рекомендации для хозяйств:

Для рыбопитомника Рудица:

1. Продолжить регулярный мониторинг качества воды;
2. Поддерживать существующую систему водоподготовки;
3. Обратить особое внимание на контроль аммонийного азота (0.096 мг/дм<sup>3</sup> - максимальное значение среди всех хозяйств).

Для ФСГЦР филиала ФГБУ «Главрыбвод»:

1. Мониторить динамику щелочности и минерализации;
2. При дальнейшем повышении щелочности (>7 ммоль/дм<sup>3</sup>) рассмотреть возможность коррекции;
3. Провести анализ источников повышенного содержания солей.

Для второго рыбопитомника, также находящегося на территории Ленинградской области:

1. Повысить рН до 6.5-7.5 путем:
  - добавления карбонатных реагентов (например,  $\text{CaCO}_3$ );
  - установки системы автоматической коррекции рН (корректировку проводить постепенно, не более 0.5 рН/сутки, чтобы избежать стресса у рыб).
2. Увеличить минерализацию до 250-300 мг/дм<sup>3</sup>:
  - введение кальциевых и магниевых солей;
  - контроль электропроводности (целевой уровень 400-500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
3. Устранить причины мутности:
  - проверить фильтрующие системы;
  - исследовать возможные источники взвешенных веществ.

Общие рекомендации для всех хозяйств:

1. Продолжить регулярный мониторинг качества воды, уделяя особое внимание содержанию аммонийного азота и фосфатов.
2. Контролировать антропогенную нагрузку на водоем для сохранения его высокого экологического статуса.
3. Внедрить единую систему мониторинга качества воды с фиксацией показателей:
  - ежедневно – температура, рН, кислород;
  - еженедельно – основные гидрохимические параметры;
  - ежемесячно – полный гидрохимический анализ.
4. Разработать программу профилактики возможных проблем:
  - план действий при изменении ключевых параметров;
  - запас реагентов для коррекции состава воды.

Заключение: Проведенные исследования подтверждают, что при условии выполнения рекомендаций все три хозяйства могут обеспечить оптимальные условия для выращивания ценных видов рыб. Особое внимание следует уделить Хозяйству 3, где требуется коррекция параметров воды. Реализация

предложенных мер позволит повысить эффективность рыбоводства и минимизировать риски для гидробионтов.

## Заключение

Развитие аквакультуры в России долгое время оставалось на периферии экономических интересов, что сдерживало реализацию её значительного потенциала. Однако в последние годы отрасль демонстрирует динамичный рост, и одним из ключевых направлений её развития становится расширение видового разнообразия культивируемых гидробионтов. В этом контексте особый интерес представляет арктический голец – ценная промысловая рыба, обладающая уникальными пищевыми качествами, но остающаяся нетрадиционным объектом для российской аквакультуры.

Проведённое исследование было направлено на оценку гидрохимических условий выращивания арктического гольца в различных рыбоводных хозяйствах. Анализ качества воды в трёх хозяйствах с разными источниками водоснабжения (озерная, родниковая и скважинная вода) позволил выявить существенные различия в ключевых параметрах:

1. Рыбопитомник Рудица продемонстрировало оптимальные условия для выращивания гольца:
  - Сбалансированный солевой состав (жёсткость 6.92°Ж, щёлочность 5.74 ммоль/дм<sup>3</sup>).
  - Нейтральная реакция среды (рН 7.61).
  - Отсутствие признаков загрязнения органическими и биогенными веществами.
2. ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод» показало схожие характеристики с незначительным повышением минерализации, что не выходит за пределы допустимых норм.
3. Рыбопитомник на севере Ленинградской области требует корректировки водного режима:
  - Слабокислая среда (рН 6.1) создаёт риски токсичности аммиака и тяжёлых металлов.
  - Низкие значения жёсткости (2.0°Ж) и щёлочности (0.70 ммоль/дм<sup>3</sup>) указывают на недостаточную буферную ёмкость.

- Пониженная минерализация (166 мг/дм<sup>3</sup>) может негативно влиять на осморегуляцию рыб.

На основании полученных результатов разработаны практические рекомендации по оптимизации условий выращивания, включающие:

- Коррекцию рН и минерального состава в третьем из рассматриваемых хозяйств.
- Регулярный мониторинг ключевых показателей во всех хозяйствах.
- Разработку индивидуальных программ водоподготовки с учётом особенностей водоисточника.

Перспективы исследования:

1. Разработка стандартизированных нормативов качества воды для арктического гольца.
2. Создание адаптированных кормовых смесей с учётом особенностей минерального состава воды.
3. Изучение влияния сезонных колебаний гидрохимических параметров на рост и развитие рыбы

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты и рекомендации могут быть непосредственно применены в рыбоводных хозяйствах, занимающихся выращиванием арктического гольца. Это будет способствовать развитию промышленного культивирования данного ценного вида, что соответствует стратегическим задачам импортозамещения и повышения пищевой безопасности России.

Таким образом, проведённое исследование вносит вклад в решение актуальной задачи развития аквакультуры России – освоение новых перспективных объектов выращивания через научно обоснованный подход к управлению качеством водной среды.

## Литература

### Книги, монографии, атласы

1. Алексеев С. С. Репродуктивные стратегии и происхождение парапатрических и симпатрических форм арктического гольца *Salvelinus alpinus* (L.) // Вопросы ихтиологии. — 2019. — Т. 59, № 4. — С. 430–447. DOI: [указать DOI].
2. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / Ю. С. Решетников. — М.: Наука, 2003. — Т. 1. — 100 с.
3. Васильев В. П. Аналитическая химия: В 2 кн. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа. — 4-е изд. — М.: Дрофа, 2004. — 368 с.
4. Домина Н. Г. Аналитическая химия. Химические методы анализа / Н. Г. Домина, С. А. Зуйкова, А. И. Хлебников, Н. А. Чемерис. — Барнаул: АлтГТУ, 2010. — 176 с.
5. Есин Е. В. Гольцы рода *Salvelinus* азиатской части Северной Пацифики: происхождение, эволюция и современное разнообразие / Е. В. Есин, Г. Н. Маркевич. — Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2017. — 188 с.
6. Илларионова Е. А. Фотометрические методы анализа / Е. А. Илларионова, И. П. Сыроватский, А. Э. Митина. — Иркутск: ИГМУ, 2022.
7. Китаев С. П. Кумжи, радужная форель, гольцы и перспективы их использования в озёрах Северо-Запада России: монография / С. П. Китаев, Н. В. Ильмаст, В. Г. Михайленко. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. — 107 с.
8. Лысова С. С. Потенциометрия. Потенциометрическое титрование: учебное пособие / С. С. Лысова, Т. А. Скрипникова, Ю. Э. Зевацкий. — СПб.: СПбГУПТД, 2017.
9. Малая советская энциклопедия. — 2-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1940. — Т. 3. — 800 с.

10. Мона В. С. Ропша: издание третье, исправленное и дополненное. — СПб.: ИПК «Вести», 2007. — 311 с.
11. Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств / А. М. Ершов, С. Р. Деркач и др. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. — 295 с.
12. Терехин Ю. В. Рекомендации по искусственному разведению гольцов на рыбоводном заводе «Имандра». — Мурманск: ПИПРО, 1984. — 10 с.
13. Химическая энциклопедия / редкол.: И. Л. Кнунянц и др. — М.: Советская энциклопедия, 1992. — Т. 3 (Мед–Пол). — 639 с.

#### Энциклопедические статьи

14. Тутурин Н. Н. Экстрагирование, экстракция // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. — СПб., 1890–1907.

#### Статьи в журналах и сборниках

15. Гордеева Н. В. Распространение, состав и родственные отношения филогенетических групп арктического гольца *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) в европейской части России и Сибири по данным анализа нуклеотидных последовательностей митохондриальной ДНК / Н. В. Гордеева, С. С. Алексеев, А. Ф. Кириллов [и др.] // Вопросы ихтиологии. — 2018. — Т. 58, № 6. — С. 659–669.
16. Журавлева Н. Г. Экологические и этологические особенности арктического гольца // Материалы международной научно-практической конференции «Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств». — 2017. — С. 182–187.
17. Журавлева Н. Г. Рекомендации для разработки биотехнологии выращивания арктического гольца // Материалы международной научно-практической конференции «Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств». — 2018. — С. 360–366.

18. Михайленко В. Г. Состояние и перспективы естественного и искусственного воспроизводства палии Ладожского озера / В. Г. Михайленко, А. Г. Леонов, М. А. Дятлов // Материалы II Международной научной конференции «Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб». — 2013. — С. 260–262.
19. Павлов Д. А. Размножение и эмбрионально-личиночное развитие палии *Salvelinus alpinus lepechini* Онежского и Ладожского озёр / Д. А. Павлов, В. Г. Михайленко, В. Н. Тимейко, Е. С. Коновалов // Вопросы ихтиологии. — 1993. — Т. 33, № 4. — С. 539–549.
20. Русяев С. М. Арктический голец — перспективный объект товарного выращивания в Ямало-Ненецком автономном округе / С. М. Русяев, Е. В. Есин // Рыбное хозяйство. — 2018. — № 1. — С. 44–48.

#### Электронные ресурсы

21. Broms F. *Salvelinus alpinus* [Фото] // Artsobservasjoner. — 2019. — URL: <https://www.artsobservasjoner.no/Image/1216839> (дата обращения: 11.02.2025).
22. Brunner P. C. Holarctic phylogeography of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences // *Evolution*. — 2001. — Vol. 55, № 3. — P. 573–586. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11327164/> (дата обращения: 25.02.2025).
23. Биофильтр Saddle-Chips компании KSK Aqua (Дания) // Aquafeed. — 2024. — URL: <https://aquafeed.ru> (дата обращения: 22.04.2025).
24. Мембраны из ацетата целлюлозы (эфиров целлюлозы) МФАС и МФЦС // [источник]. — 2024. — URL: [ссылка] (дата обращения: 01.04.2025).
25. Систематика: Гонец арктический (*Salvelinus alpinus*) // [название базы/сайта]. — 2024. — URL: <https://zooclub.ru/> (дата обращения: 07.02.2025).
26. Яндекс Карты — транспорт, навигация, поиск мест. — URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 15.03.2025).

#### Нормативные документы, ГОСТы, методики

27. ГОСТ 18309-2014. Методы определения фосфоросодержащих веществ.
28. ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.
29. ГОСТ 33045-2014. Методы определения азотсодержащих веществ.
30. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.
31. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. — М., 1997.
32. ПНД Ф 14.1:2:3:4.15-95. Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в водах экстракционно-фотометрическим методом. — М., 1995.
33. ПНД Ф 14.1:2:3:4.154-99. Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. — М., 2012.
34. ПНД Ф 14.1:2:3:4.190-03. Методика измерения бихроматной окисляемости (ХПК) в пробах вод фотометрическим методом.
35. ПНД Ф 14.1:2:3:4.207-04. Методика выполнения измерений цветности питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом. — М., 2004.
36. ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05. Методика измерений мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и формазину. — М., 2019.
37. ПНД Ф 14.1:2:3:4.261-10. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого и прокалённого остатков в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. — М., 2015.
38. ПНД Ф 14.1:2:3:4.262-10. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. — М., 2010.
39. ПНД Ф 14.1:2:3:4.98-97. Методика измерения общей жёсткости в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом.

40. РД 52.24.420-2019. Методика измерений биохимического потребления кислорода в водах титриметрическим и амперометрическим методами.
41. РД 52.24.496-2018. Методика измерений температуры, прозрачности и определения запаха воды.
42. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения...».

## Приложение

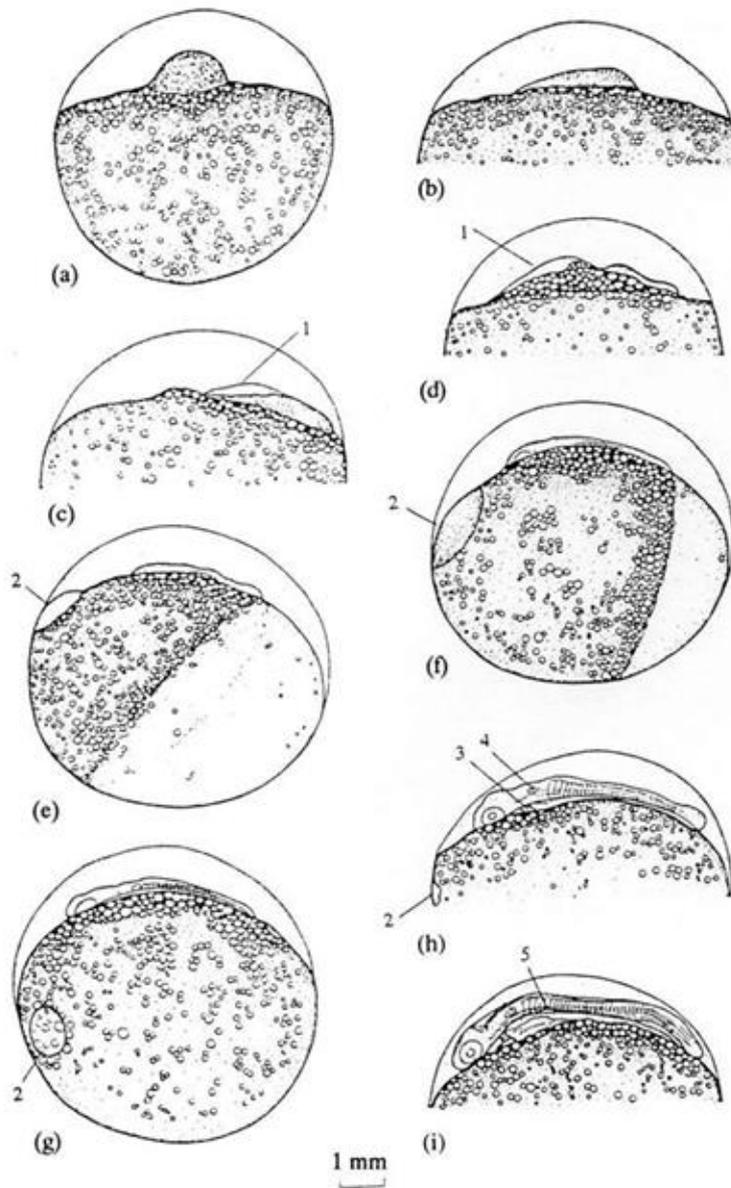


Рис. 1. Начальные стадии эмбрионального развития палии [**Error! Reference source not found.**]. (a) — мелкоклеточная морула; (b) — ранняя гастрюляция; (c) — формирование полости в бластодиске (d) — отделение перибластического синуса; (e) — появление первых сомитов, эпиболия желтка бластодермой 30%; (f) — 7 сомитов, эпиболия желтка бластодермой 70%; (g) — 18 сегментов в теле зародыша, замыкание желточной пробки; (h) — 39 сегментов в теле зародыша, появление сердечной трубки; (i) — 44 сегмента, формирование зачатков грудных плавников; (1) — полость в бластодиске; (2) — перибластический синус; (3) — сердечная трубка; (4) —

ушные капсулы; (5) — зачаток грудного плавника [**Error! Reference source not found.**].

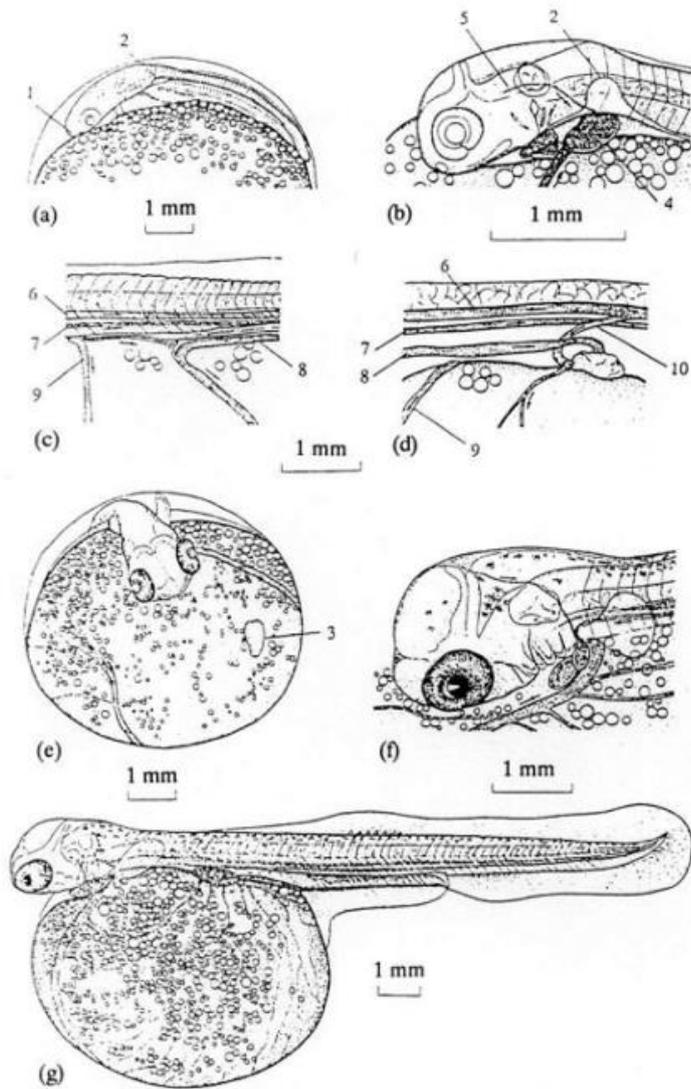


Рис. 2. Дальнейшие стадии эмбрионального развития палии [**Error! Reference source not found.**]. (a) — 44 сегмента в теле эмбриона, сокращения сердечной трубки; (b) — появление подвижных форменных элементов крови, начало пигментации глаз; (c) — соединение *vena subintestinelis vitellinae* и *vena hepatica vitellinae*, васкуляризация 25% поверхности желточного мешка; (d), (e) — кровоснабжение желточного мешка только через *vena hepatica vitellinae*, васкуляризация 65% поверхности желточного мешка; (f) — меланофоры на голове зародыша, завершение васкуляризации; (g) — ранняя дифференциация плавниковой каймы, длина зародыша 14 мм; (1) — обонятельная капсула; (2) — грудной плавник; (3) — перибластический синус; (4) — *sinus venosus*; (5) — *v. cardinalis anterior*; (6) — *aorta dorsalis*; (7) — *v. cardinalis posterior*; (8) — *v. cardinalis posterior*; (9) — *v. cardinalis posterior*; (10) — *v. cardinalis posterior*.

subintestinalis; (9) — v. hepatica vitellinae; (10) — a. coeliaco-mesenteric [**Error!**  
**Reference source not found.**].

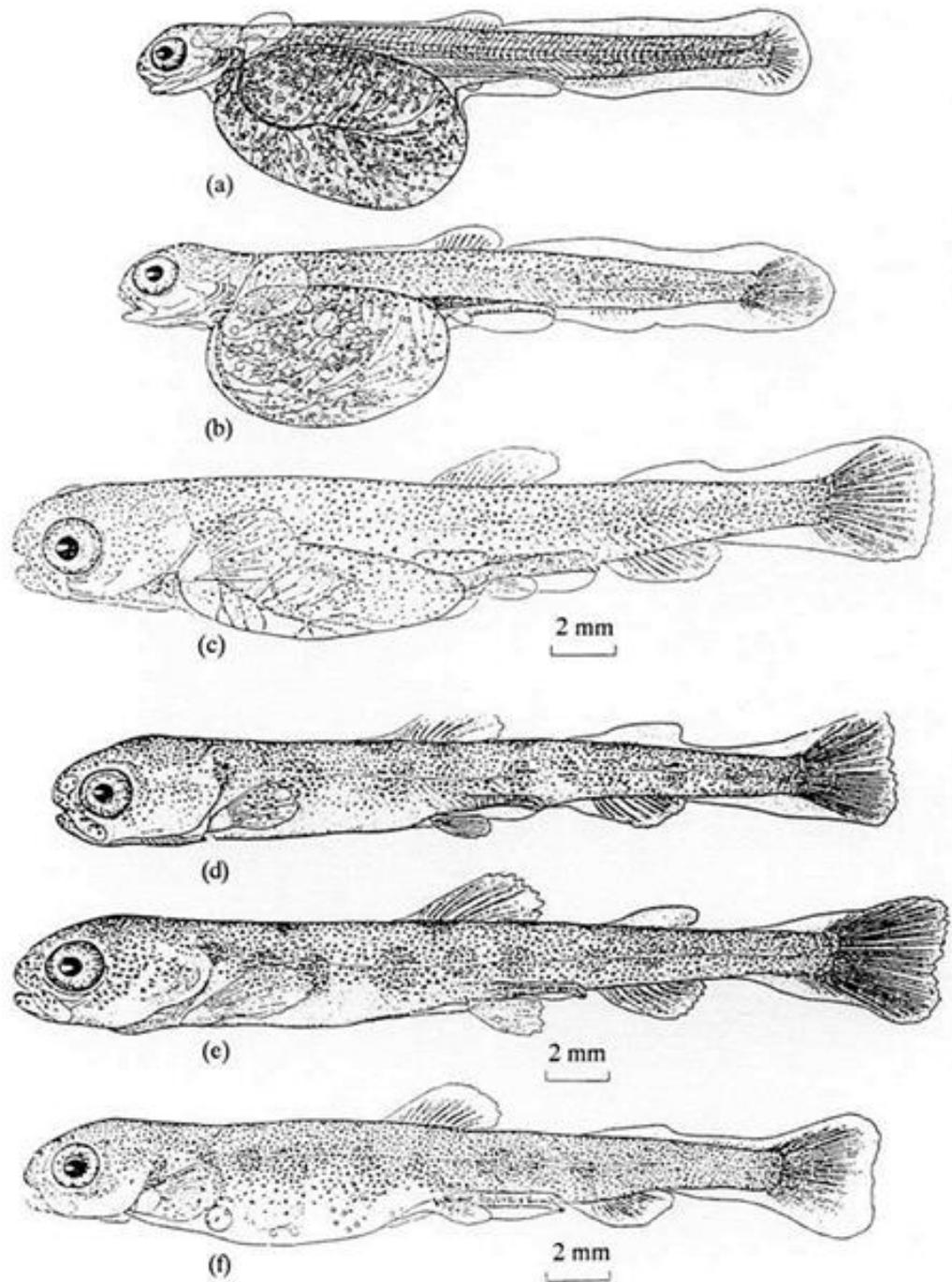


Рис. 3. Стадии развития онежской палии (a)-(e) и ладожской палии (f) после вылупления [Error! Reference source not found.]. (a) — стадия выхода из хориона, длина тела 19 мм; (b) — спинной плавник полностью отделён от плавниковой каймы, длина тела 21 мм; (c) — переход к смешанному питанию, длина тела 26 мм; (d) — появление членистых лучей в спинном и анальном плавниках, длина тела 29 мм; (e) — переход на полностью внешнее питание,

длина тела 31 мм; (f) — переход к смешанному питанию, длина тела 29 мм

**[Error! Reference source not found.]**

### Терминологический словарь

Аликвота – это точно измеренный объём раствора, взятый для анализа, который сохраняет свойства основного образца.

Амперометрия – это электрохимический метод исследования, в котором ток, возникающий в результате окислительно-восстановительных реакций на поверхности электрода, регистрируется как аналитический сигнал.

Турбидиметрия – это количественный анализ состава и свойств веществ, который основан на измерении количества света, поглощённого суспензией **[Error! Reference source not found.]**.

Патрубок – отрезок трубы, присоединённый к резервуару и другим конструкциям для отвода по нему газа, пара или жидкости.

Потенциометрия – это метод анализа, основанный на измерении зависимости равновесного электродного потенциала от активности определяемого иона **[Error! Reference source not found.]**.

Титриметрический анализ (титрование) – это метод анализа в аналитической химии, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для реакции с определяемым веществом **[Error! Reference source not found.]**.

Гравиметрический анализ (гравиметрия, весовой анализ) – это метод количественного химического анализа, в основе которого лежит точное измерение массы определяемого вещества. Данный метод базируется на законе сохранения массы веществ в ходе химических реакций **[Error! Reference source not found.]**.

Экстракция – это процесс выделения целевого вещества из раствора или сухой смеси с использованием подходящего растворителя (экстрагента), который практически не смешивается с исходной средой **[Error! Reference source not found.]**.

Фотометрический метод (фотометрия) – это метод анализа, основанный на поглощении электромагнитного излучения анализируемым веществом **[Error! Reference source not found.]**.

Биохимическое потребление кислорода – это массовая концентрация растворённого в воде кислорода, потреблённого на биохимическое окисление содержащихся в воде органических и (или) неорганических веществ за 5 суток инкубации при температуре  $(20\pm 1)^\circ\text{C}$  без доступа воздуха и света **[Error! Reference source not found.]**.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – это общая концентрация кислорода, равная количеству бихромата, потребленному растворенными и взвешенными веществами при обработке пробы воды данным окислителем в определенных условиях **[Error! Reference source not found.]**.

Шлиф – это разъёмное соединение, которое используется в стеклянной лабораторной посуде для закупоривания сосудов.