

Институт биологии - обособленное подразделение Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра  
"Карельский научный центр Российской академии наук" (ИБ КарНЦ РАН)

На правах рукописи

Провоторов Дмитрий Сергеевич

## **НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

**об основных результатах научно - квалификационной работы**

**на тему: Влияние разных режимов освещения на липидный жирнокислотный статус  
молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.), выращиваемой в искусственных  
условиях,**

подготовленной в соответствии с требованиями

Федерального государственного образовательного стандарта  
высшего образования по направлению 06.06.01. Биологические науки  
(уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Научный руководитель:

зав. лаб. экологической биохимии, д.б.н.

Мурзина Светлана Александровна

Петрозаводск - 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	4
2.1 Материал исследования .....	4
2.2 Методы исследования .....	5
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ .....	5
3.1 Динамика общих липидов и липидных классов при использовании различных режимов освещения и кормления .....	5
3.1.1 Особенности динамики общих липидов и липидных классов у сеголеток атлантического лосося .....	5
3.1.2. Особенности динамики общих липидов и липидных классов у пестряток и смолтов атлантического лосося .....	8
3.2 Динамика основных классов фосфолипидов при использовании различных режимов освещения .....	12
3.2.1 Особенности динамики фосфолипидов у сеголеток лосося .....	12
3.2.2 Особенности динамики фосфолипидов у пестряток и смолтов лосося .....	14
3.3 Динамика жирнокислотных компонентов ОЛ и отдельных фракций липидов (фосфолипидов и триацилглицеринов) при использовании различных режимов освещения и кормления .....	17
3.3.1 Жирнокислотный профиль сеголеток атлантического лосося .....	17
3.3.2. Особенности динамики жирных кислот у пестряток и смолтов .....	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	28
ВЫВОДЫ .....	29
Список основных научных публикаций, подготовленных по результатам научно-квалификационной работы: .....	30
Апробация результатов на научных мероприятиях: .....	31
Конкурсные проекты .....	32

## ВВЕДЕНИЕ

Липиды и их жирнокислотные компоненты играют важную роль в адаптации рыб к факторам среды. Липидный состав выращиваемых в аквакультуре рыб может отражать их физиологическое состояние и является одним из параметров, определяющих их жизнестойкость, позволяя корректировать условия искусственного воспроизводства (Tachtsis et al., 2018; Takeuchi, Watanabe, 1977; Мурзина и др., 2023 а). Липидный и жирнокислотный состав продукции аквакультуры также является важным показателем ее питательной ценности для человека и ее роли в поддержании здоровья населения (Гладышев, 2012).

Свет имеет следующие характеристики: длительность (фотопериод), интенсивность и спектр (длина волны), через которые он оказывает влияние на рост, метаболизм, поведение, половое созревание и размножение рыб, воздействуя на эндогенные ритмы и уровень гормонов роста (Заморский, 2018; Bjornsson et al., 2000; Taylor et al., 2005; Sonmez et al., 2009; Falcon et al., 2010; Puvanendran, Brown, 2002; Blanco-Vives et al., 2010; Imsland et al., 2018). Фотопериод, представляющий собой соотношение световых и темновых часов в течение суток, является одним из определяющих факторов, влияющих на рост и развитие гидробионтов.

Лососевые, многие из которых относятся к проходным рыбам, получают все большее распространение в аквакультуре России благодаря своей высокой питательной ценности и органолептическим свойствам (Аварский и др., 2020). Атлантический лосось (*Salmo salar* L), один из наиболее значимых северных видов, размножается преимущественно в реках бассейна северной Атлантики и является объектом многочисленных исследований, направленных на оптимизацию условий его выращивания в аквакультуре (Мурзина и др., 2023 а; Al-Emran et al., 2024).

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных технологий выращивания атлантического лосося, одного из наиболее ценных объектов аквакультуры (Аварский и др., 2020). Особое значение имеет изучение влияния факторов среды на липидный и жирнокислотный статус, как одних из самых важных показателей, демонстрирующих как потенциальную жизнеспособность организма, так и его качество для человека как пищевой продукции. Оценка действия фотопериода на липидный профиль молоди атлантического лосося может способствовать созданию рекомендаций по оптимизации условий содержания и повысить эффективность аквакультуры. Необходимость решения этих задач обусловлена также экономическими соображениями, так как повышение эффективности выращивания лосося может значительно снизить затраты и увеличить рентабельность производства.

**Цель работы** - изучение влияния различных режимов освещения на липидный и жирнокислотный статус молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.), выращиваемой в искусственных условиях.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ липидного и жирнокислотного профиля молоди атлантического лосося (сеголетки, пестрятки и смолты), выращиваемой при различных режимах освещения и кормления;
2. Изучить динамику изменений исследуемых показателей у особей атлантического лосося трех экспериментальных групп с разными режимами освещения и кормления;
3. Оценить влияние фотопериода на модификации липидного и жирнокислотного профиля и сделать заключение об эффективности смолтификации в каждой из экспериментальных групп.

## **ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1 Материал исследования**

Исследование влияния фотопериода на рост и развитие молоди атлантического лосося (выклев 10 марта – 15 марта 2022 г.) проводили на предприятии ООО “Остров аквакультура” (Республика Северная Осетия-Алания). В августе сеголеток (средней массой 2,3 г) пересадили в выростные лотки размером 4 × 1,2 м, объемом 2,5–2,7 м<sup>3</sup>, в количестве 4900 особей на лоток.

В августе сеголеток средней массой 2,3 г пересадили в выростные лотки размером 4x1,2 м, объемом 2,5-2,7 м<sup>3</sup>, в количестве 4900 особей/лоток. Во все бассейны с сеголетками после перехода на экзогенное питание было установлено непрерывное освещение (24LD) с использованием светодиодных осветителей LED (36W, 6500K). Кормление проводили в круглосуточном режиме каждые два часа с использованием коммерческого корма.

С начала сентября сеголеток, разделили на три группы по 2 лотка и стали содержать в следующих (экспериментальных) условиях: группа «24LD+КК – режим освещения постоянный (24LD), кормление круглосуточное (КК); группа «ЕстLD+КД – естественное освещение (ЕстLD), кормление проводится в светлое время суток (с 06:00 до 18:00 в сентябре, с 08:00 до 18:00 в октябре, с 08:00 до 17:00 в ноябре), через каждые два часа (КД); группа «24LD+КД – режим освещения постоянный (24LD), кормление проводится только в светлое время суток как у рыб из опыта №1 (КД).

С начала декабря подростковую молодь согласно экспериментальным группам перенесли в круглые бассейны объёмом 2,1 м<sup>3</sup> (диаметром 2 м, высотой 1 м) в количестве в среднем 2800 на бассейн.

Количество смолтов в исследуемых группах на день анализа (3 марта) составило: в группе «24LD+КК - до 50%, «ЕстLD+КД - 40%, «24LD+КД - 25%. Для исследования отбирали пестряток и смолтов лосося в начале марта (отбор особей проводили из каждой группы, которые на этапе развития сеголеток подвергались воздействию дополнительного освещения).

## **2.2 Методы исследования**

Для определения общего содержания липидов и проведения дальнейшего анализа отдельных классов липидов и жирнокислотного состава использовались стандартные методы гомогенизации тканей и экстракции липидов. Ткани замораживали в жидком азоте, затем перефиксировали в смеси хлороформ-метанол. Образцы гомогенизировали в смеси хлороформ-метанол. Экстракция липидов проводилась методом Фолча с модификациями (Folch et al., 1957; Kates, 1975). Качественное и количественное определение отдельных липидных классов осуществляли при помощи метода высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) с использованием системы САМАГ (Швейцария). Качественное и количественное определение индивидуальных фосфолипидных фракций осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием жидкостного хроматографа “Стайер” (ООО “Аквилон”, Россия). Анализ жирнокислотного состава общих липидов и отдельных липидных фракций проводили методом газовой хроматографии (ГХ) на газовом хроматографе "Кристалл 5000.2" (ЗАО "Хроматэк", Россия). Для анализа жирнокислотного состава общих липидов проводили метанолиз жирных кислот общих липидов.

## **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

### **3.1 Динамика общих липидов и липидных классов при использовании различных режимов освещения и кормления**

#### **3.1.1 Особенности динамики общих липидов и липидных классов у сеголеток атлантического лосося**

Согласно результатам проведенного анализа, в сентябре и октябре не было обнаружено значимых различий в содержании общих липидов (ОЛ) между группами, что свидетельствует о сходной динамике липидного метаболизма на ранних стадиях

эксперимента у разных групп. К ноябрю наблюдалось заметное снижение содержания ОЛ у всех групп, что указывает на адаптивные изменения в метаболизме рыб в ответ на сезонные изменения и режимы освещения.

В группе 24LD+КК содержание ОЛ уменьшилось к ноябрю достаточно заметно, как и в группе ЕстLD+КД. В группе 24LD+КД также наблюдалось снижение, но в меньшей степени. Эти данные указывают на общий тренд снижения липидных резервов в осенний период, который может быть связан с усилением метаболической активности и подготовкой к зимовке. Снижение липидных запасов может свидетельствовать о перераспределении энергетических ресурсов в организме.

Липидный профиль сеголеток характеризовался преобладанием энергетических липидов в форме триацилглицеринов. Динамика снижения содержания триацилглицеринов (ТАГ) была незначительной и недостоверной во всех исследованных вариантах, что не исключает их ключевую роль в поддержании энергетического баланса в период подготовки к смолтификации (рисунок 1).

Наблюдалось общее снижение структурных липидов к ноябрю, что может быть связано с усилением катаболических процессов и перераспределением ресурсов на поддержание жизненно важных функций. Уменьшение содержания структурных липидов может свидетельствовать об усилении пластического обмена и о мобилизации липидных резервов для удовлетворения энергетических потребностей организма в условиях ограниченного доступа к пище и изменяющихся условий среды.

Свободные жирные кислоты (СЖК), эфиры холестерина (ЭХС), воска, диацитлглицерины (ДАГ), моноацилглицерины (МАГ) — представлены в малом количестве (до двух процентов). Снижение содержания СЖК и ЭХС может свидетельствовать о повышенной активности липолиза и увеличении использования жирных кислот в качестве источника энергии.

Соотношение холестерина к фосфолипидам (ХС/ФЛ) достоверно изменялось к ноябрю, что свидетельствует о модификации биомембран и усилении структурных изменений в клетках в процессе подготовки к смолтификации.

Отношение триацилглицеринов к фосфолипидам (ТАГ/ФЛ) также имело тенденцию к возрастанию к ноябрю. Тем не менее, соотношение энергетических липидов к структурным — ТАГ/ФЛ, оказалось значительно ниже у сеголеток из группы 24LD+КК.

В целом, различные сочетания режимов освещения и кормления приводили к различиям динамики липидного профиля сеголеток трех экспериментальных групп. В группе 24LD+КК, где использовалось сочетание круглосуточного освещения и круглосуточного кормления, наблюдалось более заметное снижение содержания липидов к ноябрю. Это

свидетельствует о том, что постоянный световой режим и круглосуточное кормление стимулируют липидогенез, что важно для поддержания энергетического баланса и роста молоди (Sheridan, 1989).

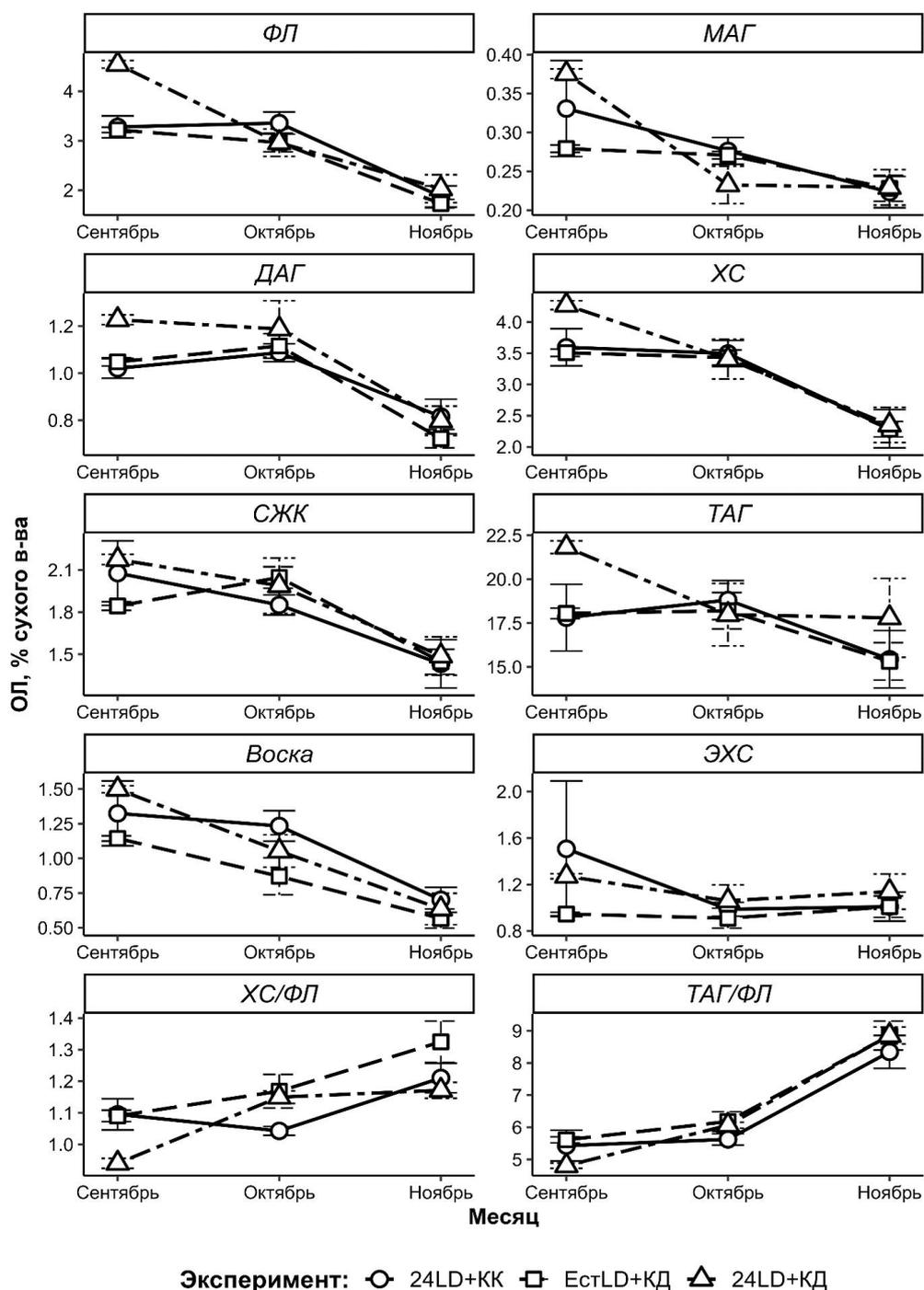


Рис. 1. Динамика липидных классов (% сухого вещества) и их ключевых соотношений у сего леток атлантического лосося в трех экспериментальных группах в период с сентября по ноябрь.

Примечание: на рисунке использованы следующие аббревиатуры для исследованных липидных классов: ФЛ – общие фосфолипиды, ТАГ – триацилглицерины, ДАГ – диацилглицерины, МАГ – моноацилглицерины, ХС – холестерин, ЭХС – эфиры холестерина, СЖК – свободные жирные кислоты.

В группе с естественным световым режимом и кормлением в светлое время суток (ЕстLD+КД) наблюдалось некоторое снижение общих липидов, что также подтверждает активное использование энергетических резервов, но в меньшей степени по сравнению с группой рыб 24LD+КК.

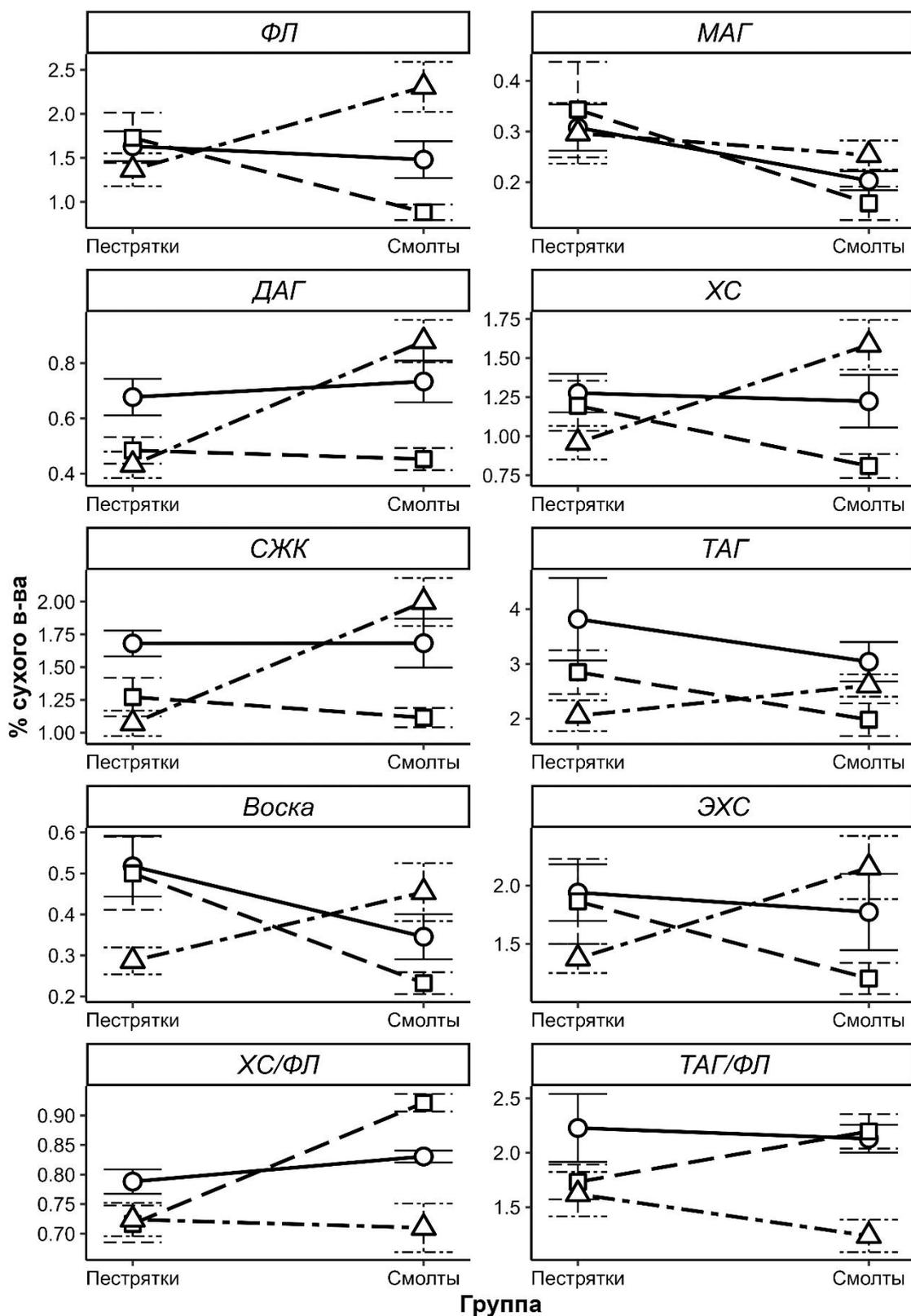
Группа молоди с круглосуточным освещением и кормлением в светлое время суток (24LD+КД) демонстрировала промежуточные результаты по снижению содержания липидов, но в целом динамика изменения липидных классов была схожей с другими группами. Это может указывать на то, что даже при круглосуточном освещении, ограниченное кормление может снижать интенсивность метаболических изменений, связанных с подготовкой к смолтификации.

### **3.1.2. Особенности динамики общих липидов и липидных классов у пестряток и смолтов атлантического лосося**

#### *Липидный профиль мышц пестряток и смолтов атлантического лосося*

Согласно полученным результатам, в мышцах пестряток не обнаружено достоверных отличий по содержанию исследованных липидных классов между группой 24LD+КК и ЕстLD+КД, при этом рыбы группы 24LD+КД отличались достоверно меньшим содержанием ДАГ, СЖК и восков по сравнению с таковыми из группы 24LD+24КК. При этом, в мышцах смолтов наблюдается достоверно меньшее содержание ФЛ, ДАГ, ХС, СЖК и ТАГ в группе ЕстLD+КД по сравнению с группой 24LD+КК, при этом образцы из группы 24LD+КД достоверно отличаются от 24LD+КК только в содержании ФЛ.

У смолтов по сравнению с пестрятками в группах 24LD+КК и ЕстLD+КД в мышцах наблюдается уменьшение количества как энергетических ТАГ (недостоверное у обеих групп), так и структурных ФЛ (достоверно для группы ЕстLD+КД), в то время как у смолтов 24LD+КД, напротив, наблюдается увеличение содержания данных липидных классов (достоверное у ФЛ). При этом, отношение ТАГ/ФЛ недостоверно снижается у рыб групп 24LD+КК и 24LD+КД, в то время как в группе ЕстLD+КД можно наблюдать обратные процессы. На рисунке 4 представлена динамика ЛК в мышцах пестряток и смолтов лосося (рисунок 2).



Эксперимент: ○ 24LD+КК □ ЕстLD+КД △ 24LD+КД

Рис. 2. Динамика липидных классов (% сухого вещества) и их ключевых соотношений в мышцах пестряток и смолтов атлантического лосося в трех экспериментальных группах в марте.

### *Липидный профиль печени пестряток и смолтов атлантического лосося*

Согласно полученным результатам, не обнаружено достоверных отличий в содержании липидных классов в печени пестряток между группами 24LD+КК и ЕстLD+КД. Показано, что у рыб в группе 24LD+КД по сравнению с ЕстLD+КК достоверно выше содержание МАГ, восков и ЭХС. В печени смолтов выявлено достоверно меньшее содержание исследованных липидных классов в группе 24LD+КД по сравнению с 24LD+КК и ЕстLD+КД, за исключением ТАГ.

У рыб в группах 24LD+КК и ЕстLD+КД не выявлено статистически значимой динамики в изменении основных липидных классов в печени смолтов по сравнению с пестрятками. При этом, у рыб группы 24LD+КД наблюдается снижение всех липидных классов (для ТАГ и восков – недостоверное). Во всех группах наблюдается увеличение отношения ТАГ/ФЛ (достоверное только для рыб 24LD+КД) (рисунок 3).

Результаты исследования демонстрируют, что в марте наблюдалось некоторое снижение количества общих липидов в мышцах смолтов по сравнению с пестрятками. Исключением была группа 24LD+КД, где этот показатель остался практически неизменным. Продолжение тенденции, выявленной в первой части исследования (сентябрь-ноябрь), когда было зафиксировано снижение содержания общих липидов у сеголеток к ноябрю, указывает на процесс факторной индуцированности смолтификации (Мурзина и др, 2023а, 2023б).

Известно, что при переходе к новым условиям обитания у лососевых рыб снижение запасов липидов происходит преимущественно за счет ТАГ (Sheridan, 1989), при этом активизируются процессы липолиза и снижается липогенез. В нашем исследовании показано некоторое (недостоверное) снижение ТАГ в мышцах при смолтификации у всех исследованных рыб, кроме группы 24LD+КД. В целом, для рыб из групп 24LD+КК и ЕстLD+КД отмечается сходство: недостоверное снижение исследованных липидных классов.

В мышцах молоди лосося в группе 24LD+КК наблюдается незначительное и недостоверное снижение ТАГ/ФЛ, что может свидетельствовать о снижении энергоемких метаболических изменений и переходе к накоплению энергетических запасов.

В исследовании не было выявлено значимых различий в содержании липидных классов в печени пестряток между группами 24LD+КК и ЕстLD+КД. Однако в группе 24LD+КД наблюдалось достоверно большее содержание моноацилглицеринов (МАГ), восков и эфиров холестерина (ЭХС) по сравнению с группой ЕстLD+КК. В печени смолтов зафиксировано достоверно меньшее содержание исследованных липидных классов в группе 24LD+КД по сравнению с группами 24LD+КК и ЕстLD+КД, за исключением ТАГ.

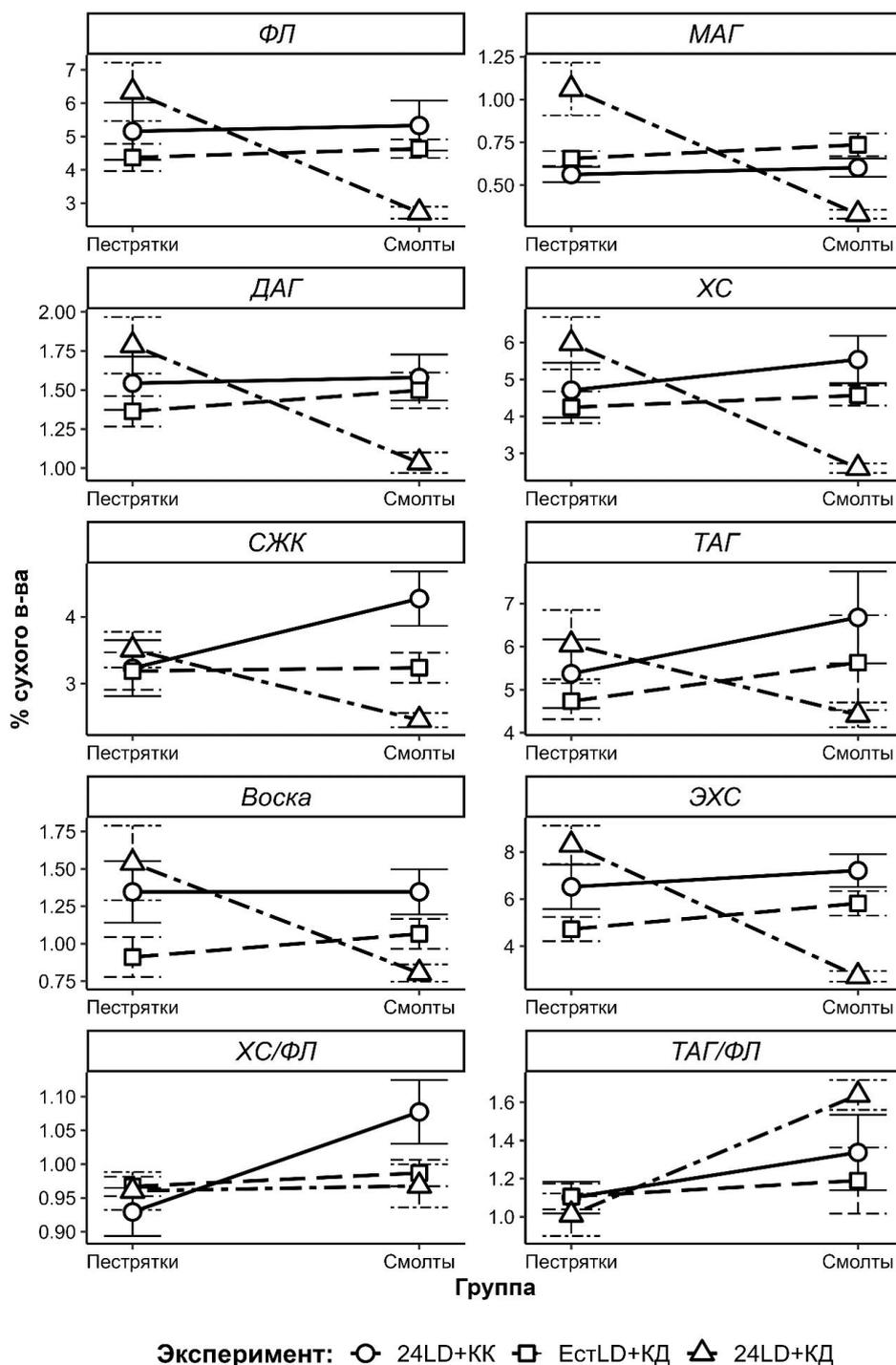


Рис. 3. Динамика липидных классов (% сухого вещества) и их ключевых соотношений в печени пестряток и смолтов атлантического лосося в трех экспериментальных группах в марте.

Рыбы в группах 24LD+КК и ЕстLD+КД не продемонстрировали значимой динамики в изменении основных липидных классов в печени смолтов по сравнению с пестрятками. Однако в группе 24LD+КД отмечалось снижение всех липидных классов (для ТАГ и восков это снижение было недостоверным). Во всех группах наблюдалось увеличение соотношения ТАГ/ФЛ, при этом это увеличение было достоверным только для рыб из группы 24LD+КД.

В печени рыб из групп 24LD+КК и ЕстLD+КД не наблюдается значимых изменений исследованных показателей, что может свидетельствовать о функционировании этого органа в пределах нормы (Provotorov et al., 2024).

### **3.2 Динамика основных классов фосфолипидов при использовании различных режимов освещения**

#### **3.2.1 Особенности динамики фосфолипидов у сеголеток лосося**

Согласно полученным результатам, наиболее заметные изменения у рыб в ходе эксперимента отмечены для основных классов фосфолипидов – фосфатидилхоли (ФХ) и фосфатидилэтаноламин (ФЭА). Снижение содержания этих липидов указывает на возможное перераспределение липидных ресурсов и модификациях биомембран в ответ на сезонные и экспериментальные условия. Динамика основных фосфолипидных классов у сеголеток лосося представлена на рисунке 4.

ФХ и ФЭА демонстрировали тенденцию к снижению, что может быть связано с усилением катаболических процессов и мобилизацией мембранных липидов для поддержания энергетического баланса в экспериментальных условиях. Учитывая, что основной энергетический резерв – ТАГ – снижался во всех группах сеголеток слабо и недостоверно, следует предположить, что изменения фосфолипидного состава отражали как дефицит энергии, так и перестройку биомембран в связи с началом общей подготовки организма к смолтификации. При этом, снижение содержания фосфатидилинозитола (ФИ) может быть связано с уменьшением сигнальной активности при адаптации к изменяющимся условиям.

Судя по всему, фотопериод оказывает значительное влияние на липидный обмен у сеголеток атлантического лосося. В группе 24LD+КК, где освещение поддерживалось круглосуточно, несмотря на тенденцию к снижению, наблюдалось более стабильное содержание фосфолипидов, что может быть связано с постоянным стимулированием метаболических процессов. В группе ЕстLD+КД, где освещение и кормление осуществлялось только в светлое время суток, наблюдалось более выраженное снижение содержания фосфолипидов. В группе 24LD+КД снижение содержания фосфолипидов было менее выраженным по сравнению с группой ЕстLD+КД.

Таким образом, динамики ФЛ у сеголеток атлантического лосося также отражает влияние режима освещения и кормления на липидный профиль. Круглосуточное освещение и круглосуточное кормление способствуют поддержанию относительно стабильного фосфолипидного профиля, тогда как естественное освещение и кормление только в светлое

время суток приводят к более выраженному снижению содержания фосфолипидов (Мурзина и др., 2023 б).

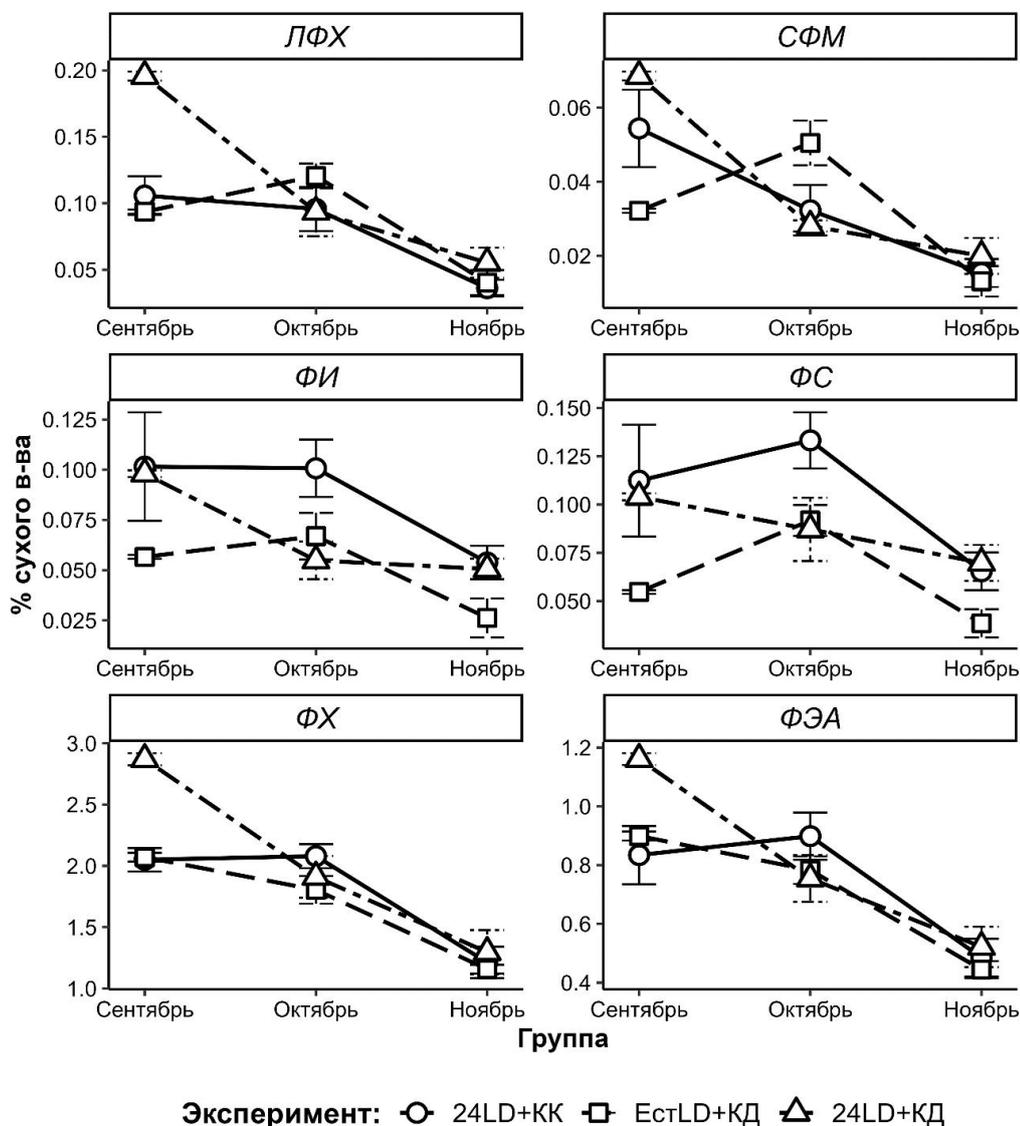


Рис. 4. Динамика фосфолипидных классов (% сухого вещества) у сеголеток атлантического лосося в трех экспериментальных группах в период с сентября по ноябрь.

Примечание: на рисунке использованы следующие аббревиатуры для исследованных фосфолипидных классов: ФИ – фосфатидилинозитол, ФС – фосфатидилсерин, ФЭА – фосфатидилэтаноламин, ФХ – фосфатидилхолин, ЛФХ – лизофосфатидилхолин, СФМ – сфингомиелин.

### 3.2.2 Особенности динамики фосфолипидов у пестряток и смолтов лосося

*Фосфолипидный профиль мышц пестряток и смолтов атлантического лосося*

Динамика основных фосфолипидных классов в мышцах пестряток и смолтов показана на рисунке 5.

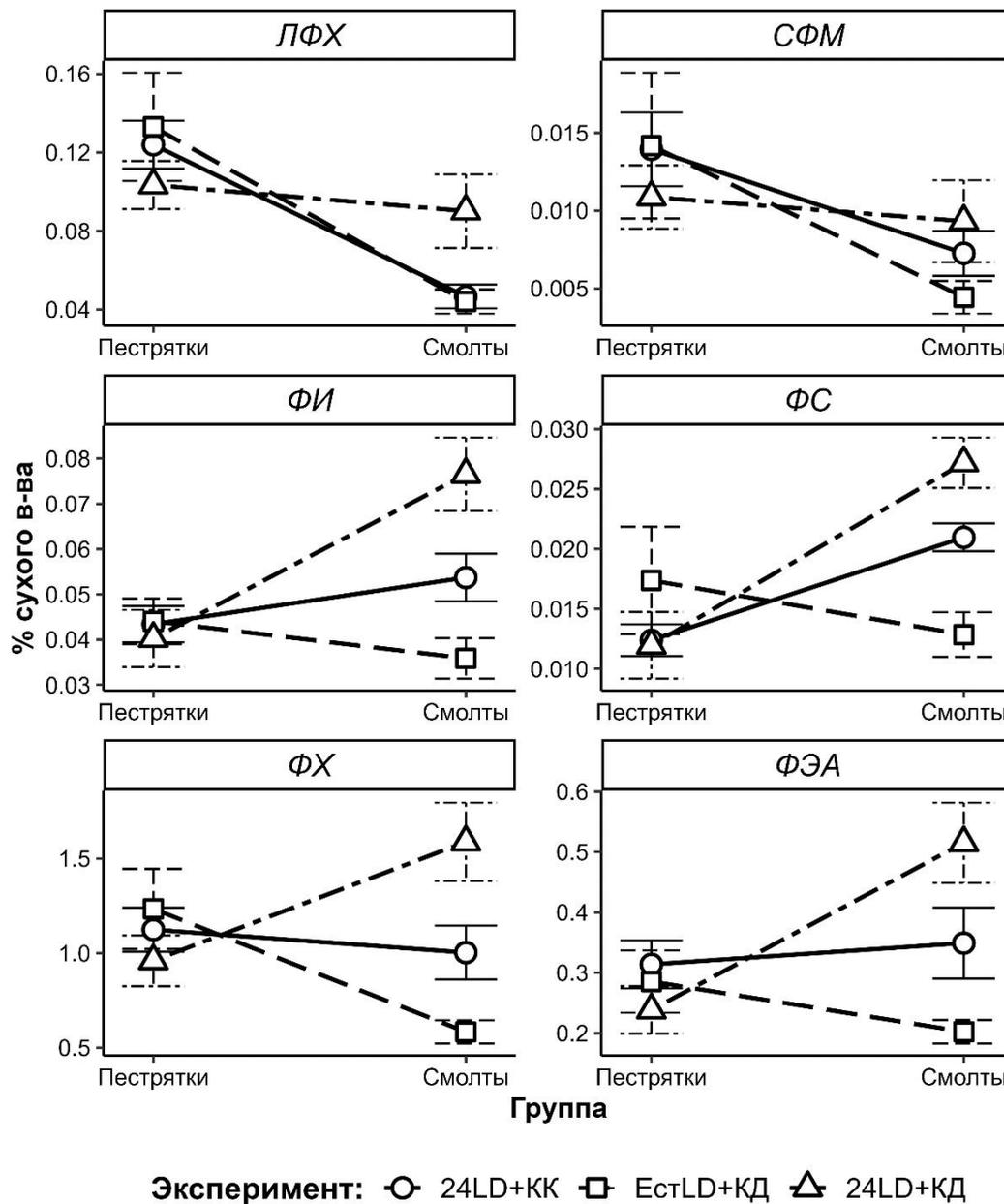


Рис. 5. Динамика фосфолипидных классов (% сухого вещества) в мышцах пестряток и смолтов атлантического лосося в трех экспериментальных группах в марте.

*фосфолипидный профиль печени пестряток и смолтов атлантического лосося*

Динамика основных фосфолипидных классов в печени пестряток и смолтов показана на рисунке 6.

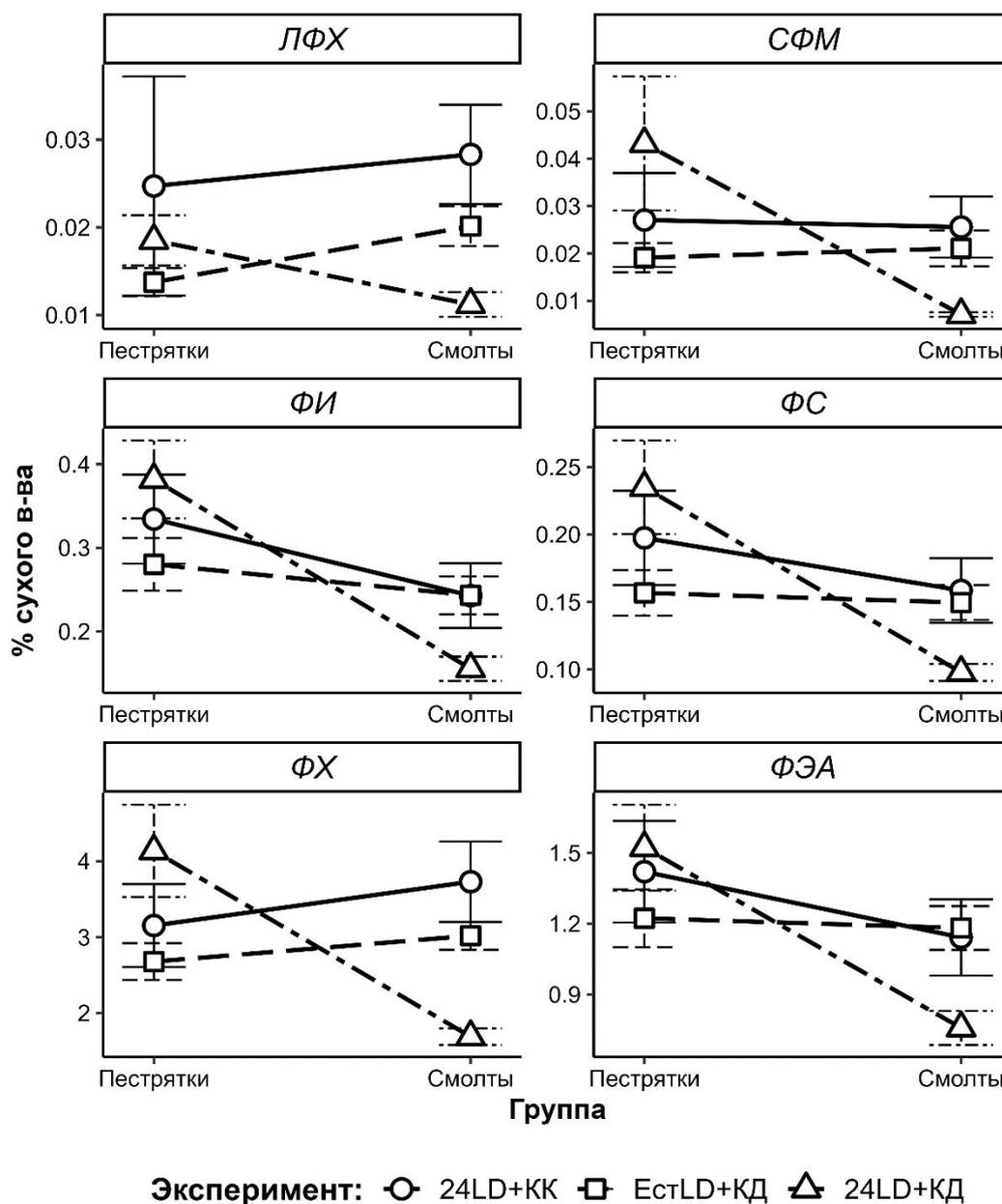


Рис. 6. Динамика фосфолипидных классов (% сухого вещества) в печени пестряток и смолтов атлантического лосося в трех экспериментальных группах в марте.

По результатам анализа выявлено, что в фосфолипидном профиле мышц молоди лосося происходило достоверное увеличение содержания фосфатидилсерина (ФС) у смолтов из групп 24LD+KK и 24LD+КД по сравнению с пестрятками. Недостоверное снижение содержания ФС у молоди из группы ЕстLD+КК может указывать на схожее направление

перестройки метаболизма, но скорость этих процессов ниже по сравнению со смолами группы 24LD+КК.

Отмечается схожесть состава и динамики изменений отдельных фосфолипидов у смолтов из групп 24LD+КК и ЕстLD+КД. Недостоверные изменения остальных исследованных фосфолипидов в мышцах рыб из групп 24LD+КК и ЕстLD+КД, включая доминирующие ФЭА и ФХ, на фоне плавного снижения минорного лизофосфатидилхолина (ЛФХ), могут указывать на то, что в процессе смолификации фосфолипиды, особенно мажорные по количеству, изменяются слабо, выполняя основную структурную функцию в организме. Реорганизация фосфолипидного состава достигается за счет минорных фосфолипидов, в большей степени тех, которые участвуют в осморегуляции. Таким образом, изменения фосфолипидного профиля в этих группах происходят на подготовительном этапе смолификации, а в марте наблюдается следовой эффект перестроек на уровне фосфолипидов.

В печени рыб из групп 24LD+КК и ЕстLD+КД установлено недостоверное изменение всех исследованных показателей, что может указывать на функционирование данного органа в состоянии нормы. Тем самым, основные и выраженные изменения метаболизма с участием липидов в процессе смолификации у лосося в данных экспериментальных условиях показаны для мышц. При этом, у рыб из группы 24LD+КД, напротив, показано достоверное и значительное снижение липидных показателей в печени, от ОЛ до минорных фосфолипидов, что указывает на долговременную перестройку липогенеза в печени вплоть до смолтов (март) на введенное круглосуточное освещение еще на этапе сеголетка (сентябрь-ноябрь) (Provotorov et al., 2024).

### 3.3 Динамика жирнокислотных компонентов ОЛ и отдельных фракций липидов (фосфолипидов и триацилглицеринов) при использовании различных режимов освещения и кормления

#### 3.3.1 Жирнокислотный профиль сеголеток атлантического лосося

##### Особенности динамики жирных кислот общих липидов у сеголеток лосося

На рисунке 7 представлена тепловая карта содержания обнаруженных ЖК в тушках сеголеток. В таблице 1 продемонстрировано содержание суммарных жирных кислот в ОЛ сеголеток.

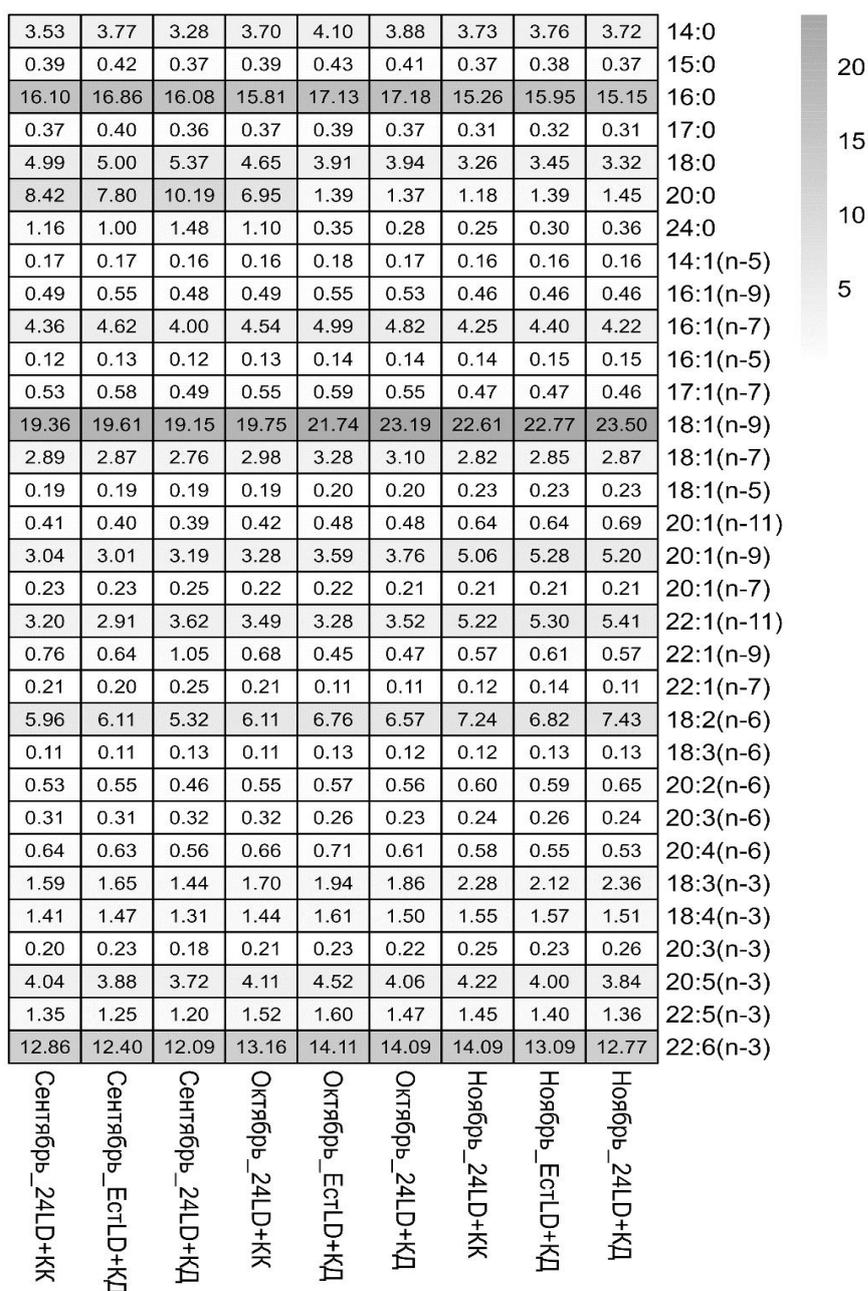


Рис. 7. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в общих липидах сеголеток атлантического лосося в период с сентября по ноябрь.

Таблица 1.

Содержание суммарных жирных кислот (% суммы) у сеголеток атлантического лосося в период с сентября по ноябрь.

Месяц	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь		
	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД
НЖК	34.97±1.16	35.24	37.12	32.97±0.7	27.7±0.17 А	27.43±0.57 А	24.38±0.15С	25.55±0.88	24.69±0.15С
МНЖК	35.99±0.29	36.09	36.09	37.08±0.5	39.8±0.17 А	41.23±1.23 А	42.96±0.47С	43.66±0.25С	44.2±0.26
(n-6) ПНЖК	7.53±0.16	7.72	6.79	7.74±0.06	8.43±0.04 А	8.09±0.2 В	8.79±0.09 С	8.35±0.34	8.97±0.13 С
(n-3) ПНЖК	21.44±0.81	20.87	19.94	22.15±0.31	24.02±0.1 А	23.2±1.46	23.84±0.37С	22.41±0.71С	22.11±0.28А
ПНЖК	28.98±0.96	28.59	26.72	29.89±0.34	32.45±0.1 А	31.29±1.66	32.63±0.37С	30.75±1.03С	31.07±0.39

Условные обозначения: НЖК – насыщенные жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; А – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) любой группы от 24LD+КК в пределах каждого месяца; В – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) 24LD+КД от ЕстLD+КД в пределах каждого месяца; С – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) от таковых у одноименных групп между октябрём и ноябрём;

Содержание мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) стабильно увеличивалось с сентября по ноябрь во всех исследованных группах, что указывает на их важную роль в адаптации к изменяющимся условиям среды, что может быть связано с более активным метаболизмом и использованием этих кислот в качестве источника энергии. Олеиновая кислота (18:1(n-9)), как основная мононенасыщенная кислота, показала значительное увеличение, что свидетельствует о ее ключевой роли в энергетическом обмене.

Содержание пальмитоолеиновой кислоты (16:1(n-7)) также демонстрировало тенденцию к увеличению, особенно в октябре и ноябре. Это указывает на важность этой кислоты в метаболических процессах, связанных с ростом и развитием рыб. 16:1(n-7) является важным компонентом липокина, гормона, синтезируемого адипоцитами. Липокин играет значимую роль в метаболизме, повышая чувствительность клеток к инсулину, особенно в мышечных тканях, что способствует эффективному использованию глюкозы.

Содержание насыщенных жирных кислот (НЖК), особенно пальмитиновой кислоты (16:0), снижалось к ноябрю, что может свидетельствовать о перераспределении энергетических ресурсов в организме рыб и на использование этих кислот в качестве источника энергии в условиях увеличенной метаболической активности.

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) играют важную роль в физиологических и биохимических процессах, и их содержание значительно увеличивалось

к ноябрю. Особенно заметным было увеличение содержания докозагексаеновой кислоты (22:6(n-3)), что свидетельствует о важности этой кислоты для адаптации к зимнему периоду и подготовке молоди рыб к переселению в морскую среду обитания.

Докозагексаеновая кислота является важным компонентом мембран нервных клеток и играет ключевую роль в поддержании функций нервной ткани и зрительного восприятия. Ее увеличение указывает на подготовку нервной системы к потенциальному изменению условий окружающей среды.

Исследование динамики жирных кислот у сеголеток атлантического лосося в различных режимах освещения позволило выявить заметное влияние фотопериода на липидный метаболизм рыб, причем изменения происходят в направлении смолтификации (Мурзина и др, 2023 а).

### **Особенности динамики жирных кислот триацилглицеринов и фосфолипидов у сеголеток лосося**

#### *Триацилглицерины*

На рисунке 8 представлена тепловая карта содержания ЖК в ТАГ сеголеток.

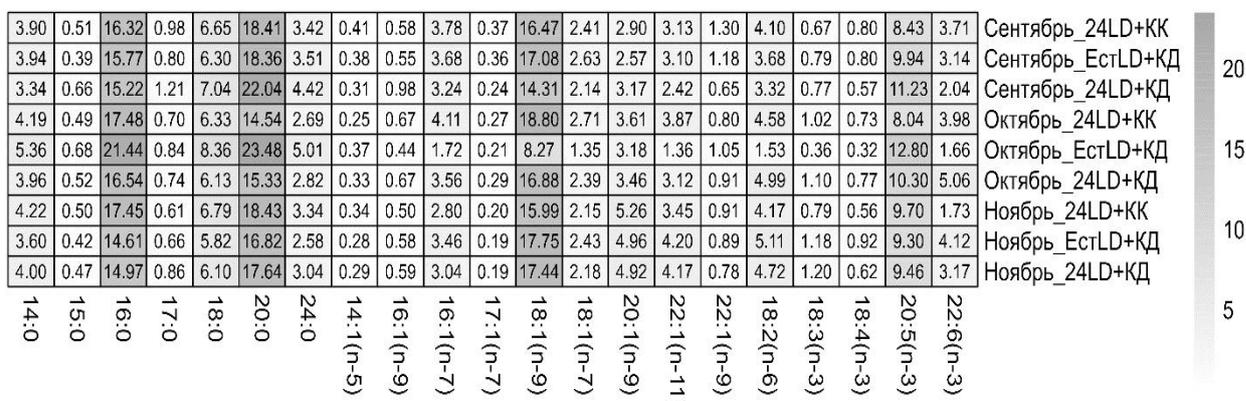


Рис. 8. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в триацилглицеринах сеголеток атлантического лосося в период с сентября по ноябрь.

## Фосфолипиды

На рисунке 9 представлена тепловая карта содержания ЖК в ФЛ сеголеток.

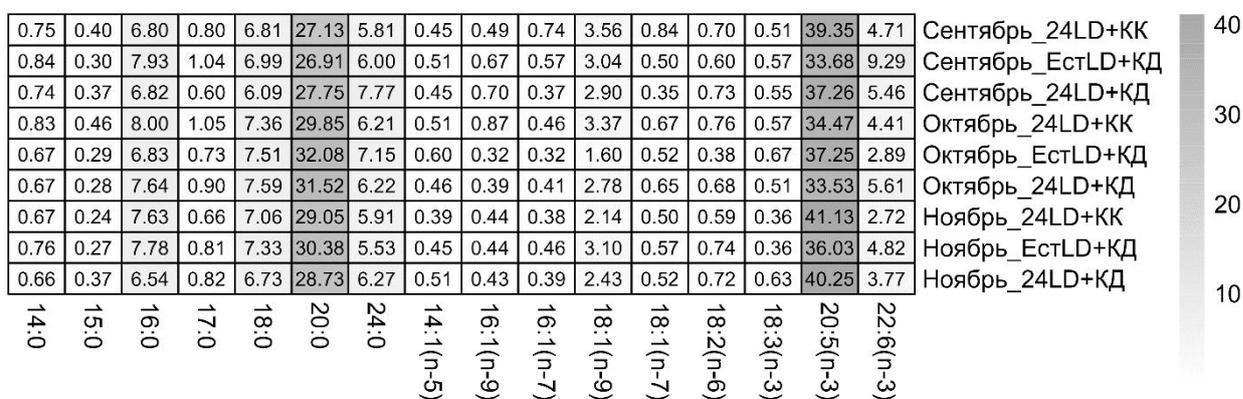


Рис. 9. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в фосфолипидах сеголеток атлантического лосося в период с сентября по ноябрь.

Высокий уровень НЖК, особенно в октябре, может свидетельствовать о накоплении энергетических запасов перед зимним периодом, когда метаболические потребности организма возрастают.

Мононенасыщенные жирные кислоты, несмотря на меньшую долю по сравнению с НЖК, также играют ключевую роль в метаболизме сеголеток. Значительное содержание олеиновой кислоты (18:1(n-9)), особенно в контрольных и опытных группах, подчеркивает ее значимость для поддержания клеточной мембраны и запасания энергии. Интересно, что в группе ЕстLD+КД в октябре уровень этой кислоты был значительно ниже, что может быть связано с различиями в условиях кормления и освещения.

Полиненасыщенные жирные кислоты, несмотря на их меньшую долю в ТАГ, играют важную роль в физиологии рыб, особенно в осенний период. Увеличение содержания ПНЖК, особенно n-3 ПНЖК, в ноябре указывает на важность этих кислот для поддержания адаптивных функций организма в условиях снижения температуры воды и подготовки к зимнему периоду. Высокое содержание докозагексаеновой кислоты (22:6(n-3)) и эйкозапентаеновой кислоты (20:5(n-3)) подчеркивает их значимость для поддержания мембранной целостности и функциональности в условиях стрессовых факторов.

Фосфолипиды, как важные компоненты клеточных мембран, также демонстрируют значительные изменения в зависимости от сезона и экспериментальных условий. Преобладание НЖК в ФЛ тушки сеголеток указывает на их важную роль в поддержании структурной целостности мембран и адаптации к изменяющимся условиям среды.

### 3.3.2. Особенности динамики жирных кислот у пестряток и смолтов

#### *Жирнокислотный профиль общих липидов пестряток и смолтов атлантического лосося*

#### *Жирнокислотный профиль мышц пестряток и смолтов атлантического лосося*

На рисунке 10 представлена тепловая карта содержания ЖК в ОЛ мышц пестряток и смолтов. В таблице 2 продемонстрировано содержание суммарных жирных кислот в ОЛ мышц пестряток и смолтов.

1.92	2.67	2.56	2.18	2.57	2.13	14:0
0.29	0.38	0.39	0.31	0.35	0.30	15:0
16.64	20.64	21.11	16.99	18.24	16.30	16:0
0.49	0.62	0.60	0.55	0.61	0.45	17:0
5.41	6.62	6.26	5.39	5.79	5.45	18:0
2.19	2.61	1.82	2.09	1.48	3.75	20:0
0.18	0.18	0.12	0.16	0.15	0.20	24:0
0.22	0.18	0.17	0.15	0.15	0.16	14:1(n-5)
0.52	0.60	0.59	0.50	0.52	0.48	16:1(n-9)
1.90	2.56	2.72	2.01	2.40	1.77	16:1(n-7)
0.09	0.11	0.11	0.09	0.10	0.09	16:1(n-5)
0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.08	17:1(n-7)
18.08	19.12	17.80	14.88	14.50	13.50	18:1(n-9)
3.06	3.54	3.21	2.76	3.02	2.63	18:1(n-7)
0.11	0.15	0.14	0.13	0.15	0.12	18:1(n-5)
0.16	0.23	0.25	0.21	0.27	0.18	20:1(n-11)
2.13	2.30	2.05	1.68	1.84	1.52	20:1(n-9)
0.22	0.20	0.22	0.18	0.18	0.18	20:1(n-7)
0.76	1.35	1.27	0.97	1.30	0.81	22:1(n-11)
2.32	0.77	0.43	0.71	0.28	0.82	22:1(n-9)
6.48	4.84	3.79	4.36	3.84	4.26	18:2(n-6)
0.07	0.07	0.06	0.09	0.07	0.10	18:3(n-6)
0.35	0.41	0.40	0.45	0.40	0.42	20:2(n-6)
0.19	0.20	0.18	0.25	0.21	0.23	20:3(n-6)
1.24	1.03	1.24	1.49	1.51	1.35	20:4(n-6)
2.37	1.37	1.01	1.48	1.11	1.51	18:3(n-3)
0.41	0.42	0.47	0.54	0.59	0.47	18:4(n-3)
0.16	0.14	0.14	0.19	0.17	0.20	20:3(n-3)
6.33	7.00	5.39	6.20	5.02	9.26	20:5(n-3)
1.92	1.74	1.93	2.38	2.26	2.34	22:5(n-3)
23.71	17.87	23.50	30.55	30.85	28.95	22:6(n-3)
Пестрятки_24LD+КК	Пестрятки_ЕстLD+КД	Пестрятки_24LD+КД	Смолты_24LD+КК	Смолты_ЕстLD+КД	Смолты_24LD+КД	

Рис. 10. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в общих липидах мышц пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

Таблица 2.

Содержание суммарных жирных кислот (% суммы) в мышцах пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

Месяц	Март (пестрятки)			Март (смолты)		
	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД
НЖК	27.12±1.41	33.74±2.21	32.86±1.53 А	27.68±0.47	29.18±0.44	28.59±0.63 С
МНЖК	29.64±3.05	31.19±2.13	29.02±3.49	24.36±1.26	24.79±2.11 С	22.33±1.62
(n-6) ПНЖК	8.33±1.08	6.54±0.29	5.67±0.43	6.63±0.36	6.03±0.28	6.35±0.36
(n-3) ПНЖК	34.91±2.93	28.53±4.04	32.45±4.68	41.32±1.16	40±2.47 С	42.72±1.4
ПНЖК	43.24±2.24	35.07±4.08	38.12±4.82	47.95±0.83	46.02±2.25 С	49.08±1.09 С

Условные обозначения: НЖК – насыщенные жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; А – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) групп от 24LD+КК в пределах каждого месяца; В – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) 24LD+КД от ЕстLD+КД в пределах каждого месяца; С – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) от таковых у одноименных групп между пестрятками и смолтами;

*Жирнокислотный профиль печени пестряток и смолтов атлантического лосося*

На рисунке 11 представлена тепловая карта содержания ЖК в ОЛ печени пестряток и смолтов. В таблице 3 продемонстрировано содержание суммарных жирных кислот в ОЛ печени пестряток и смолтов.

Снижение содержания НЖК у смолтов по сравнению с пестрятками может быть связано с их использованием в качестве источников энергии для поддержания активного роста и развития. Основная насыщенная жирная кислота, пальмитиновая кислота (16:0), демонстрировала значительные колебания в зависимости от группы.

Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК), такие как олеиновая кислота (18:1(n-9)), также играют ключевую роль в поддержании клеточной мембраны и запасании

энергии. Снижение содержания МНЖК у смолтов может указывать на их использование в качестве источников энергии в процессе метаболической адаптации.

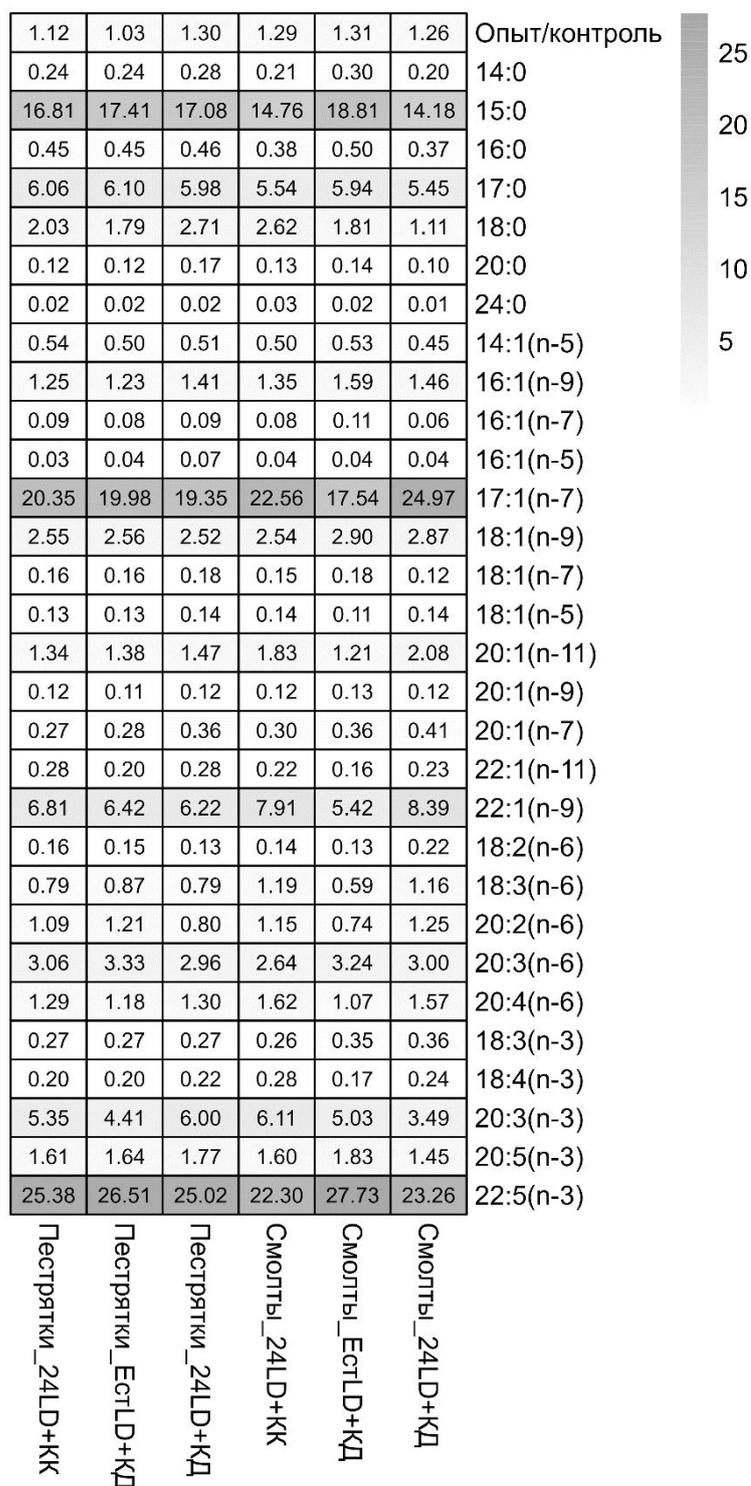


Рис. 11. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в общих липидах печени пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

Таблица 3.

Содержание суммарных жирных кислот (% суммы) в печени пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

Месяц	Март (пестрятки)			Март (смолты)		
	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД	24LD+КК	ЕстLD+КД	24LD+КД
НЖК	26.84±1.04	27.15±1.2	27.97±1.11	24.94±1.26	28.82±1.15	22.66±0.96 BC
МНЖК	27.15±1.95	26.66±2.13	26.54±1.64	29.86±2.71	24.88±2.05	32.95±1.94 BC
(n-6) ПНЖК	11.91±0.95	11.97±1.02	10.91±0.88	13.03±0.79	10.12±1	14.03±0.74 BC
(n-3) ПНЖК	34.11±1.85	34.22±1.9	34.58±1.47	32.16±2.17	36.18±1.84	30.36±1.66 C
ПНЖК	46.02±1	46.19±0.97	45.49±0.93	45.2±1.52	46.3±0.96	44.39±1

Условные обозначения: НЖК – насыщенные жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты, А – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) групп от 24LD+КК в пределах каждого месяца; В – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) 24LD+КД от ЕстLD+КД в пределах каждого месяца; С – отличия достоверны ( $p \leq 0,05$ ) от таковых у одноименных групп между пестрятками и смолтами;

В печени пестряток и смолтов доминируют ПНЖК, что указывает на их важную роль в поддержании гомеостаза и регуляции метаболических процессов. Высокое содержание (n-3) ПНЖК, особенно ДГК, в печени смолтов подчеркивает их роль в адаптации к морской среде. Печень, как основной орган метаболизма и детоксикации, требует значительных количеств ПНЖК для поддержания своих функций.

У пестряток и смолтов группы 24LD+КД наблюдалось увеличение содержания (n-6) ПНЖК. В то же время, в группе ЕстLD+КД наблюдалось увеличение содержания линолевой кислоты (18:2(n-6)). Линолевая кислота является предшественником арахидоновой кислоты, которая участвует в синтезе эйкозаноидов, важных для регуляции воспалительных и иммунных процессов.

При этом было показано некоторое увеличение в мышцах смолтов содержания арахидоновой кислоты (20:4(n-6)) по сравнению с сеголетками. Известно, что у молоди лосося, выращиваемой в аквакультуре, по сравнению с дикой молодью происходит

аккумуляция поступающей с пищей исходной кислоты данного семейства – 18:2(n-6), а накопление 20:4(n-6) затруднено (Ackman, Takeuchi, 1986). Небольшое (по сравнению с дикой рыбой) накопление арахидоновой кислоты у молоди лосося во всех группах может играть роль в процессе приспособления к новым условиям обитания, поскольку она является предшественником ряда биологически активных веществ, необходимых для адаптации организма рыб (Мурзина и др., 2023 а).

### **Особенности динамики жирных кислот триацилглицеринов и фосфолипидов у пестряток и смолтов**

#### *Триацилглицерины мышц*

На рисунке 12 представлена тепловая карта содержания ЖК в ТАГ мышц. Суммарные ЖК в ТАГ мышц пестряток и смолтов лосося представлены в таблице 6.

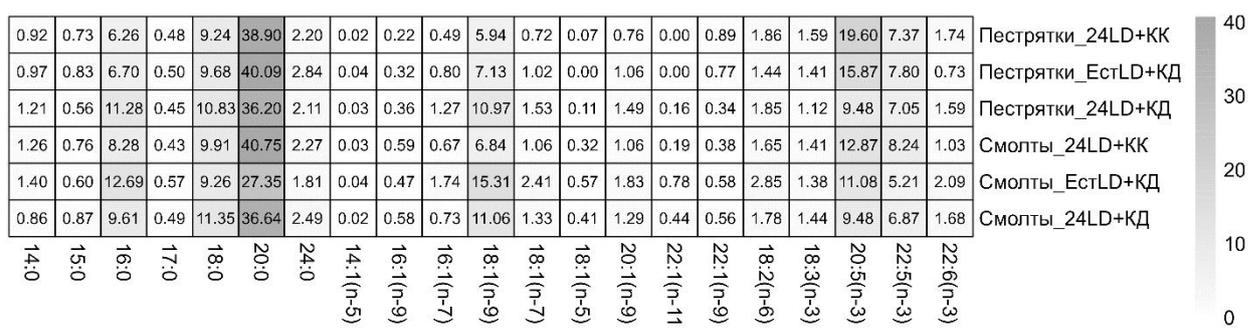


Рис. 12. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в триацилглицеринах мышц пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

#### *Триацилглицерины печени*

На рисунке 13 тепловая карта содержания ЖК в ТАГ печени. Суммарные ЖК в ТАГ печени пестряток и смолтов лосося представлены в таблице 7.

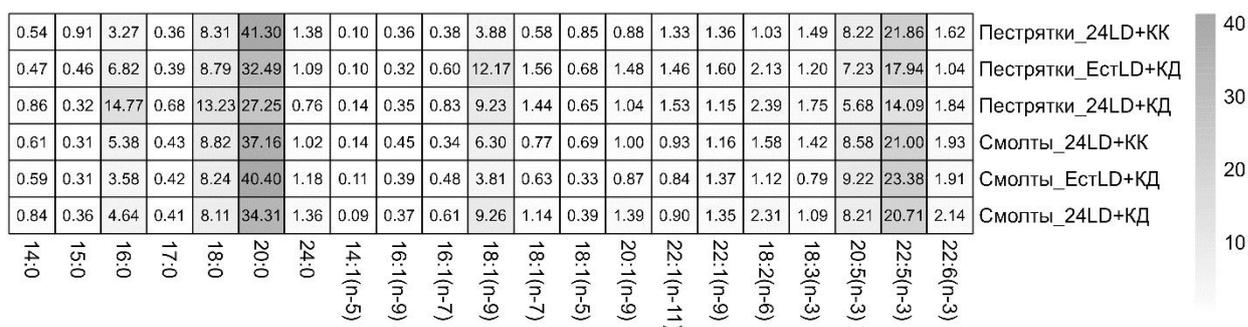


Рис. 13. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в триацилглицеринах печени пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

### Фосфолипиды мышц

На рисунке 14 представлена тепловая карта содержания ЖК в ФЛ мышц. Суммарные ЖК в ФЛ мышц пестряток и смолтов лосося представлены в таблице 8.

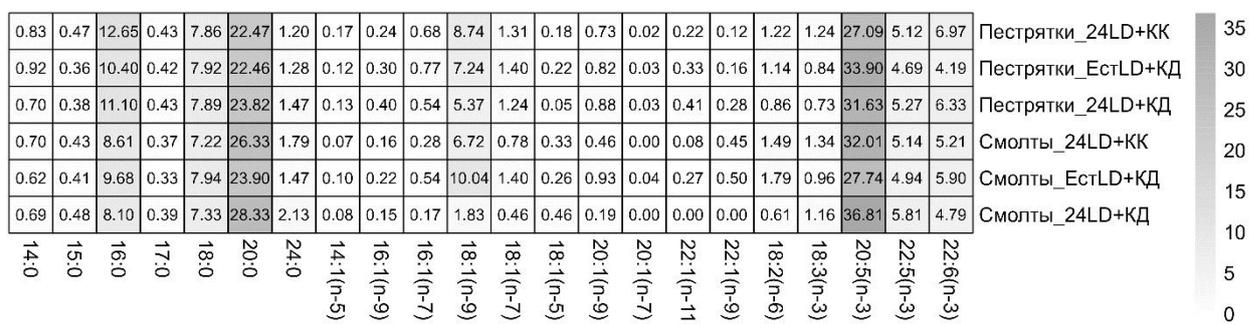


Рис. 14. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в фосфолипидах мышц пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

### Фосфолипиды печени

На рисунке 15 представлена тепловая карта содержания ЖК в ФЛ печени. Суммарные ЖК в ФЛ печени пестряток и смолтов лосося представлены в таблице 9.

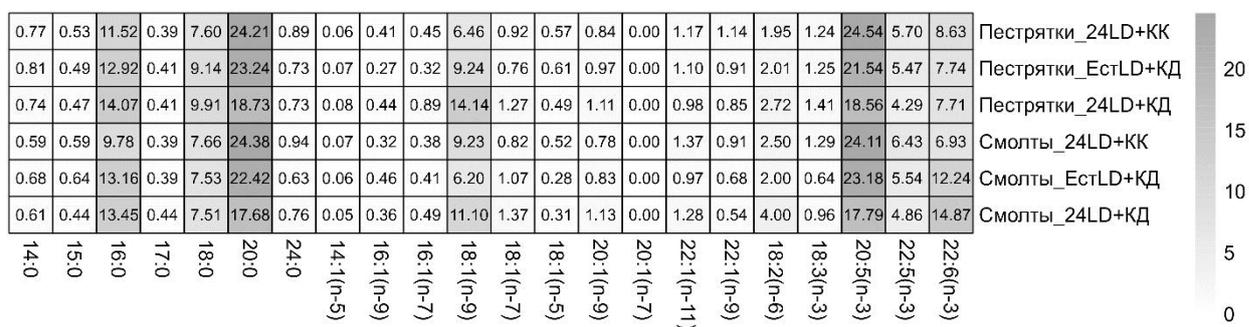


Рис. 15. Тепловая карта содержания и динамики отдельных жирных кислот (% суммы ЖК) в фосфолипидах печени пестряток и смолтов атлантического лосося в марте.

Установлено, что среди доминирующих жирных кислот в фосфолипидах и триацилглицеринах у исследуемой молодежи лосося были 16:0, 18:0, 20:0, 18:1(n-9), 20:5(n-3), 22:5(n-3) и 22:6(n-3). Этот спектр является характерным для организма рыб и определяется возможностью биосинтеза, трансформации и накопления липидов в различных тканях и органах, а также влиянием экологических и физиологических факторов, таких как трофика и гидрология (Sargent et al., 1989).

Преобладание n-3 ПНЖК, особенно докозагексаеновой кислоты, связано с высокой потребностью в этих компонентах для поддержания мембранной структуры и функций в условиях интенсивного роста и развития. Также отмечено снижение содержания МНЖК и НЖК в мышцах и печени у всех экспериментальных групп.

Результаты исследования показывают, что наиболее успешная адаптация липидного метаболизма происходила у смолтов группы 24LD+КК и ЕстLD+КД.

\*\*\*

Результаты визуализации важности факторов с помощью метода случайного леса показали, что как фотопериод, так и режимы кормления имеют значительное влияние на формирование липидных показателей у лососевых рыб. В большинстве случаев, оба фактора имеют близкую важность, что указывает на их равнозначное влияние на липидный метаболизм (рис. 16).

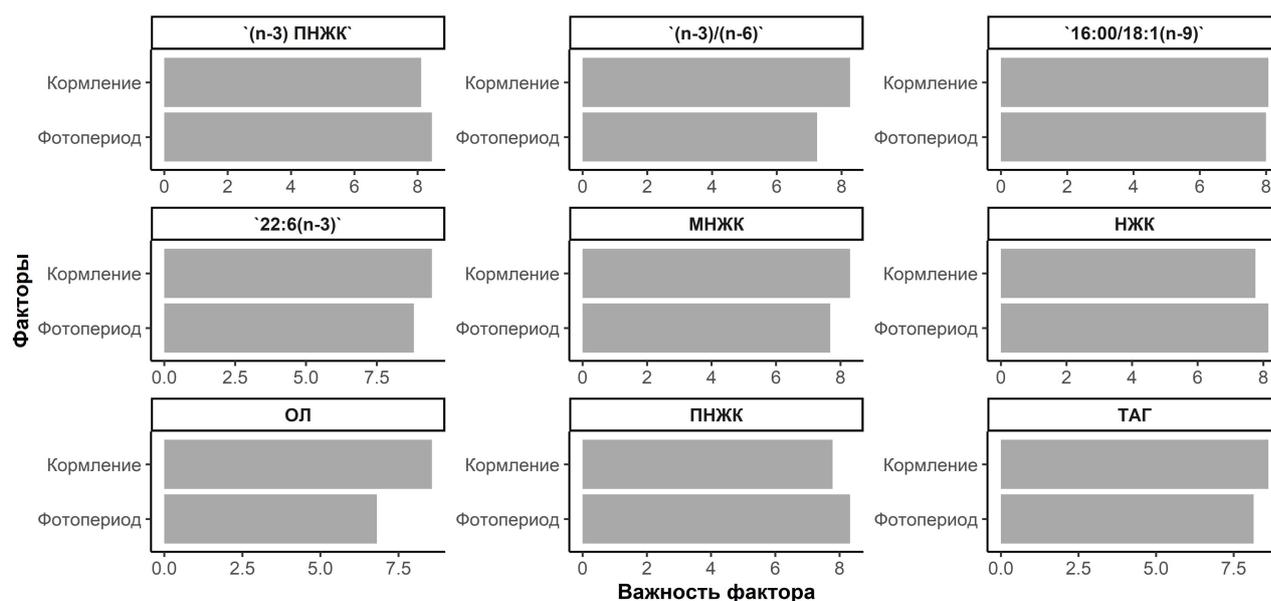


Рисунок 16. Оценка важности (вклада) фактора освещения и временного фактора кормления в формирование липидных индикаторов смолтификации у молоди атлантического лосося в рамках эксперимента.

Интерпретация данных важности факторов показывает, что для оптимизации условий выращивания лососевых рыб в аквакультуре необходимо учитывать оба фактора — и фотопериод, и режимы кормления. Их взаимодействие играет ключевую роль в обеспечении здоровья и продуктивности рыб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты эксперимента по введению круглосуточного освещения в технологию выращивания молоди атлантического лосося в сочетании с различными режимами кормления в суточном аспекте позволяют говорить о том, что примененные в работе экспериментальные режимы интенсифицируют процесс развития молоди, что приводит к появлению ранних смолтов. Ускорение отражается на динамике комплекса показателей, включая темпы роста, экспрессию генов миогенных регуляторных факторов и активность ферментов энергетического обмена (Кузнецова и др, 2023, Шульгина и др, 2021 а), а также показателей липидного обмена.

Данные литературы и результаты наших исследований подчеркивают важную метаболическую роль липидов и жирных кислот в адаптации рыб к изменениям световых режимов, особенно в условиях их искусственного разведения. Сравнивая изменения липидогенеза у атлантического лосося в экспериментальных условиях с таковыми в природных популяциях, можно судить о «типичности» происходящих изменений в организме. Изменения состава липидов и жирных кислот, сопровождающие молодь лосося на пути к смолтификации, достаточно универсальны как для диких, так и искусственно выращиваемых рыб. Эти изменения отражают готовность молоди к переселению в морскую среду обитания, являясь индикаторами смолтификации. В рамках работы удалось подтвердить данное предположение. Показано, что процессы смолтификационной перестройки сопровождаются значительными количественными и качественными изменениями содержания общих липидов, запасных и структурных, а также их жирнокислотных компонентов. Среди индикаторов наступления смолтификации и готовности смолтов к переходу в морскую среду обитания в качестве наиболее показательных были выделены следующие: снижение общих липидов, снижение ТАГ и соотношения ТАГ/ФЛ, повышение содержания ПНЖК за счет (n-3) ПНЖК, в частности 22:6(n-3), повышение соотношений (n-3)/(n-6) ПНЖК, 18:3(n-3)/18:2(n-6), 22:6(n-3)/18:3(n-3), снижение НЖК и повышение общей ненасыщенности липидов.

Применение круглосуточного освещения приводит к более быстрому изменению липидных индикаторов в направлении смолтификации по сравнению с таковыми в природных популяциях и группах без дополнительного освещения в заводских условиях. Результаты экспериментальных исследований липидного и жирнокислотного состава молоди лосося, а также данные с рыбоводного предприятия о доле смолтов в исследуемых группах, свидетельствуют о том, что наиболее успешная смолтификационная перестройка происходила в группе с сочетанием круглосуточного освещения и круглосуточного

кормления 24LD+КК. Продемонстрировано, что ускоряющий эффект фотопериода не абсолютен: в группе 24LD+КД изменения липидного профиля идут зачастую другим путем, нежели у других групп, и в меньшей мере соответствуют изменениям в естественных условиях. Показательно, что именно в этой группе был получен наименьший процент сформированных ранних смолтов.

Таким образом, полученные результаты подчеркивают значимость сочетания фотопериода и режима кормления для оптимизации условий выращивания атлантического лосося в аквакультуре. Манипуляции с режимами освещения и кормления могут быть использованы для ускорения процессов смолтификации, улучшения физиологического состояния рыб и повышения качества конечной продукции. Эти данные также могут служить основой для дальнейших исследований в области биохимических адаптаций рыб к изменяющимся условиям окружающей среды и разработки новых технологических подходов к их выращиванию в аквакультуре.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что различные режимы освещения и кормления существенно влияют на липидный и жирнокислотный состав молоди атлантического лосося. Молодь, выращенная при круглосуточном освещении и кормлении (24LD+КК) демонстрировала наиболее выраженные изменения в липидном составе, что указывает на значительное влияние фотопериода на липидный метаболизм.

2. На всех исследованных этапах развития (сеголетки, пестрятки, смолты) у молоди лосося наблюдалось увеличение содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). У смолтов ПНЖК преобладали по содержанию, за счет n-3 ПНЖК, таких как эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая кислоты (ДГК). Эти кислоты играют важную роль в подготовке организма лосося к переходу в морскую среду.

3. Установлена тканеспецифичность содержания жирных кислот в различных органах. В ТАГ мышц пестряток и смолтов доминировала ЭПК, тогда как в печени преобладала ДПК. Эти различия подчеркивают важность учета органоспецифических особенностей при оценке липидного метаболизма рыб.

4. Полученные данные свидетельствуют о том, что различные режимы освещения и кормления способствуют успешной смолтификации лосося. Наиболее выраженные изменения в липидном и жирнокислотном составе, характерные для перехода к морскому образу жизни, наблюдались у рыб группы 24LD+КК, что можно оценить по изменению липидных индикаторов смолтификации.

5. Сравнение изменений жирных кислот и липидов у рыб в природных условиях (по данным литературы) и в настоящем эксперименте показало схожие тенденции. Это подтверждает универсальность липидных индикаторов, которые могут быть использованы для оценки смолтификации лосося как в естественной среде, так и в условиях аквакультуры.

6. Понимание механизмов, связанных с изменениями жирнокислотного профиля в процессе смолтификации, позволяет оптимизировать условия выращивания лосося в аквакультуре. Экспериментальные данные подтверждают, что круглосуточное освещение и соответствующий режим кормления способствуют достижению соответствующих норм показателей липидного состава и подготовке молоди лосося к смолтификации.

**Список основных научных публикаций, подготовленных по результатам научно-квалификационной работы:**

- статьи - 5:

1. Мурзина С. А., Провоторов Д. С., Воронин В. П., Кузнецова М. В., Курицын А. Е., Немова Н. Н. Липидный профиль пестряток и смолтов атлантического лосося *Salmo salar* L. выращенных в аквакультуре при введении разных режимов освещения и кормления // Известия РАН. Серия биологическая. 2023, № 2, с. 134–148. / Murzina S.A., Provotorov D.S., Voronin V.P., Kuznetsova M.V., Kuritsyn A.E., and Nemova N.N. Parameters of Lipid Metabolism in Underyearlings of the Atlantic Salmon *Salmo salar* reared under different regimes of the photoperiod and feeding Modes in Aquaculture in the Southern Region of Russia // Biology Bulletin. 2023. Vol. 50. № 2. pp. 121–134.
2. Мурзина С.А., Провоторов Д.С., Воронин В.П., Манойлова Д.И., Курицын А.Е., Пеккоева С.Н., Немова Н.Н. Фосфолипидный состав сеголеток атлантического лосося *Salmo salar* в процессе роста и развития в аквакультуре: влияние разных режимов освещения и кормления // Доклады российской академии наук. Науки о жизни. 2023. Т. 509. С. 181–185. / Murzina, S.A., Provotorov, D.S., Voronin, V.P. et al. Phospholipid Composition of Fingerlings of Atlantic Salmon *Salmo salar* during Growth and Development in Aquaculture: The Effect of Different Lighting and Feeding Regimes. Doklady Biochemistry and Biophysics. 2023, Vol. 509, pp. 51–55.
3. Провоторов Д. С., Мурзина С. А., Воронин В. П., Курицын А. Е., Немова Н. Н. Состав жирных кислот общих липидов у пестряток и смолтов атлантического лосося *Salmo salar* L. Выращенных в аквакультуре при разных режимах освещения // Доклады Российской академии наук. Наукио жизни 2023, Т. 513, № 1, с. 549-554 / Provotorov, D. S., Murzina, S. A., Voronin, V. P., Kuritsyn, A. E., and Nemova, N. N. Fatty acid composition of total lipids in atlantic

salmon *Salmo salar* L. parr and smolts reared in aquaculture at various lighting regimes // Doklady Biological Sciences. – Moscow : Pleiades Publishing, 2023. – Vol. 513. – №. 1. – pp. 382-386.

4. Provotorov, D. S., Murzina, S. A., Voronin, V. P., Manoylova D. I., Kuritsyn, A. E., and Nemova, N. N. Lipid Profile of Parr and Smolts of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Reared in Aquaculture Under Various Lighting Regimes // Biology Bulletin. 2024. Vol. 51. № 1. pp. 47–56.

5. Khurtina S.N., Murzina S.A., Provotorov D.S., Voronin V.P., Kuritsyn A.E., Nemova N.N. Fatty acid composition of phospholipids and triacylglycerols of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L: grown under different and feeding conditions in aquaculture conditions (North Ossetia-Alania) // Russian Journal of Developmental Biology. 2024. V. 55. №1. P. 1-14.

- материалы конференций и тезисы - 3:

1. Провоторов Д. С., Мурзина С. А., Воронин В. П., Курицын А. Е., Немова Н. Н. Введение постоянного освещения при выращивании молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. изменяет состав жирных кислот в направлении смолтификации // Современное состояние водных биоресурсов и аквакультуры: материалы научно-практической VII международной конференции, г. Новосибирск, 08-09 ноября 2023 г. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Морузи. – Новосибирск: НГАУ. – 2023. – 222 с.

2. Мурзина С.А., Провоторов Д.С., Воронин В.П., Немова Н.Н. Липидный профиль атлантического лосося *Salmo salar* в раннем развитии в условиях искусственного воспроизводства в норме и при влиянии физических факторов // Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции "Изучение водных и наземных экосистем: история и современность", Севастополь, 2022. С. 287-288.

3. Мурзина С.А., Провоторов Д.С., Воронин В.П., Кузнецова М.В., Курицын А.Е., Манойлова Д.И., Немоав Н.Н. Инновационная аквакультура: введение в практику лососеводства переменного фотопериода и регуляция его продолжительности влияет на сроки смолтификации атлантического лосося (*Salmo salar*) // Тезисы Конгресса молодых ученых Беларуси и России, 28-30 марта 2023 г., Минск, 2023 г.

**Апробация результатов на научных мероприятиях:**

1. Очный устный доклад на II Международной научно-практической конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», 5 - 9 сентября 2022

года, г. Севастополь, РФ. Тема доклада: «Влияние фотопериода на липидный состав мышц и ростовые процессы лососевых рыб».

2. Устный доклад (онлайн) на Всероссийской научно-практической конференции «Лососевые рыбы: биология, воспроизводство, промысел», 23- 24 марта 2023 года, г. Мурманск, РФ. Тема доклада: «Введение разных режимов освещения в технологию выращивания атлантического лосося *Salmo salar* L.: изменение липидного и жирнокислотного состава в мышечной ткани пестряток и смолтов».

3. Устным доклад (онлайн) на конференции «Современные проблемы водных биоресурсов и аквакультуры», 8-9 ноября 2023 г., г. Новосибирск. Тема доклада: «Введение постоянного освещения при выращивании молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. изменяет состав жирных кислот в направлении смолтификации».

4. Стендовым доклад на Всероссийской Четвертой школе молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии: «Современные аспекты рыбохозяйственной науки и геномные технологии в аквакультуре и рыболовстве», 30 ноября – 4 декабря 2023 г., г. Москва. Тема доклада: «Добавим свет: постоянное освещение изменяет профиль жирных кислот молоди атлантического лосося в направлении смолтификации в условиях аквакультуры».

### **Конкурсные проекты**

Проект Российского научного фонда № 19-14-00081-П (2022 – 2023) «Влияние физических факторов на эффективность искусственного (заводского) воспроизводства молоди атлантического лосося *Salmo salar*: физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика», руководитель проекта: академик РАН Немова Н.Н.