

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.109.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИИ им. А.Н. СЕВЕРЦОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ ВОРОНИНА ВИКТОРА ПЕТРОВИЧА «ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ С УЧАСТИЕМ ЛИПИДОВ У МЕЗОПЕЛАГИЧЕСКИХ РЫБ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ» НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело N \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20 ноября 2024 г. № 6

О присуждении Воронину Виктору Петровичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Эколого-биохимические адаптации с участием липидов у мезопелагических рыб Северной Атлантики» по специальностям 1.5.13. – ихтиология и 1.5.4. - биохимия, биологические науки, принята к защите, протокол № 4 от 03 сентября 2024 г. диссертационным советом 24.1.109.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 119071, Москва, Ленинский проспект д. 33, утвержден приказом № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Воронин Виктор Петрович 13 июня 1994 года рождения.

В 2016 году окончил Эколого-биологический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет» с присуждением квалификации «Бакалавр» по направлению подготовки 06.03.01. «Биология», профиль «Биохимия и молекулярная биология».

В 2019 году окончил с отличием Институт биологии, экологии и агротехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет» с присуждением квалификации «Магистр» по направлению подготовки 06.03.01. «Биология».

В 2023 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению подготовки 06.06.01. «Биологические науки».

Работает в должности научного сотрудника в лаборатории экологической биохимии Института биологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск.

Диссертация выполнена на базе лаборатории экологической биохимии Института биологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»

Научный руководитель доктор биологических наук, Мурзина Светлана Александровна, заведующая лабораторией экологической биохимии Института биологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Герасимов Юрий Викторович, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией экологии рыб, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова Российской академии наук»;

Сущик Надежда Николаевна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

Дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Российской академии наук» (г. Севастополь) в своём положительном отзыве, составленном и подписанным доктором биологических наук Зуевым Германом Васильевичем и кандидатом биологических наук Скуратовской Екатериной Николаевной, рассмотренном и принятым на заседании отдела ихтиологии ФИЦ ИнБЮМ, протокол № 9 от 4 октября 2024 г. и утверждённом Горбуновым Романом Вячеславовичем, доктором географических наук, директором ФИЦ ИнБЮМ, отмечает, что «Работа В.П. Воронина посвящена изучению мезопелагической ихтиофауны арктических морей России... В представленной диссертационной работе основной акцент сделан на изучении

липидного профиля тканей мезопелагических рыб. Особое внимание уделяется структурным липидам – в основном фосфолипидам, жирнокислотный состав которых определяет состояние клеточных мембран, что важно при адаптации организма к условиям гипербории и гипотермии. Должное внимание уделено и энергетической составляющей: моно-, ди-, триацилглицеридам, НЕЖК, участие которых в адаптационных процессах очевидно... Липидный профиль тканей оценивается у видов способных к вертикальным миграциям и не проявляющих данное свойство. Должное внимание уделяется и перспективным объектам промысла – окуню-клявачу, типичному представителю мезопелагической ихтиофауны арктических морей... Автору удалось разделить представителей мезопелагической ихтиофауны на две группы: способных к вертикальной миграции и немигрирующие виды. В значительной степени работа построена на сравнительном анализе этих двух групп рыб. Показаны принципиальные отличия между ними в содержании структурных (биомембраны) и резервных (энергетических) липидов. Особое внимание заслуживает анализ качественного состава жирных кислот, в частности представленных в минорном количестве. Последнее позволило определить место отдельных видов в трофических цепях мезопелагиали... Практическая ценность диссертационной работы В.П. Воронина сводится в основном к оценке пищевой ценности видов сумеречной зоны. В частности, представляют интерес данные по жирнокислотному составу липидов белых мышц: ненасыщенных омега-3-6-9-7 кислот, а также приводимых в работе интегральных индексов качества липидов. К практической части работы можно отнести и 2-ой подраздел главы 3. В нем на в зависимости от сроков хранения проводится сравнительный анализ пищевой и биотехнологической ценности филе мышц окуня-клявача. Это имеет прямое отношение к пищевым технологиям сохранности рыбной продукции... Вместе с тем, в отзыве ведущей организации имеются следующие замечания, рекомендации, вопросы: «1. Не понятна целесообразность накопления эфиров холестерина и восков у вертикально мигрирующих видов. Эта закономерность была показана как для пузырных (окунь-клявач), так и не содержащих пузыря (*Ch. sloani*), то есть участие их в регуляции плавучести сомнительна. Тем более, что при поднятии в верхние слои воды содержание восков, как энергетических субстратов, должно снижаться. Если это не регуляция плавучести, а просто энергетические субстраты, тогда не понятен их приоритет по отношению к триацилглицеридам. 2. Из рисунка 8 не следует, что мигрирующие виды имеют высокий уровень восков и ЭХС, исключение *Lampanyctus macdonaldi*. 3. Суточные вертикальные миграции допускают, что многие адаптационные процессы должны развиваться в течение считанных часов. Позволим процитировать автора: «Установлено, что при всплытии рыбы в верхние слои мезопелагиали в структуре ФЛ увеличивается количество НЖК, тогда как при погружении, наоборот, ПНЖК». Эти процессы достаточно инерционны. Неужели они реализуются в столь короткий промежуток времени и захватывают скелетные мышцы в целом? 4. В главе 1 следовало бы расширить

информацию об адаптации морских рыб к гидростатическому давлению. Этому вопросу посвящено только 3 абзаца (с. 21–22). 5. Целесообразно было бы в главе «Результаты исследования» завершать изложение разделов, акцентирую внимание на выявленных эффектах. Это облегчало переход к аналитической составляющей работы: «Обсуждение результатов». 6. В списке цитируемых источников имеются неточности: местами не указан год публикации, например позиция 255 и другие. 7. Диссертация несвободна от опечаток, грамматических, стилистических ошибок....

Анализ представленного для рассмотрения материала (рукописи диссертации, автореферата, публикаций), основных положений и выводов диссертации, с учетом новизны, практической значимости и статистической надежности полученной информации позволяет заключить, что диссертационная работа В.П. Воронина: «Эколого-биохимические адаптации с участием липидов у мезопелагических рыб Северной Атлантики» является законченным научным исследованием. Она соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук (пп. 9-14 Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции от 25.01.2024), а ее автор, Воронин Виктор Петрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.13- ихтиология, 1.5.4 – биохимия»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией, компетентностью в тематике рассматриваемой диссертации и наличием в течение последних пяти лет достаточного количества публикаций, рассматривающих вопросы, близкие по содержанию к проведенным соискателем исследованиям.

Соискатель имеет 90 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (научные статьи в высокорейтинговых журналах первого и второго квартиля), 10 тезисов и материалов докладов, а также 5 зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности (базы данных).

Достоверность результатов подтверждается обеспечением минимально необходимой выборки фактического материала для каждой исследуемой группы веществ при использовании высокочувствительного современного хроматографического оборудования, а также применением сверхчистых референтных веществ и метода масс-спектрометрии при определении качественного состава липидных компонентов. Достоверность также подтверждается использованием общепринятых методов статистической обработки данных, адекватных методов многомерного анализа и машинного обучения, а также отсутствием противоречий между полученными результатами и ранее опубликованными данными.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Voronin V.P.**, Nemova N.N., Ruokolainen T.R., Artemenkov D.V., Rolskii A.Y., Orlov A.M., Murzina S.A. Into the deep: New data on the lipid and fatty acid profile of redfish *Sebastes mentella* inhabiting different depths in the Irminger Sea // *Biomolecules*. – 2021. – Vol. 11, N. 5. – Article ID. 704. <https://doi.org/10.3390/biom11050704>
2. Murzina S.A., **Voronin V.P.**, Ruokolainen T.R., Artemenkov D.V., Orlov A.M. Comparative analysis of lipids and fatty acids in beaked redfish *Sebastes mentella* Travin, 1951 collected in wild and in commercial products // *Journal of Marine Science and Engineering*. – Vol. 10, N. 1. – Article ID. 59. <https://doi.org/10.3390/jmse10010059>
3. **Voronin V.P.**, Artemenkov D.V., Orlov A.M., Murzina S.A. Lipids and fatty acids in some mesopelagic fish species: General characteristics and particularities of adaptive response to deep-water habitat // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10, N. 7. – Article ID. 949. <https://doi.org/10.3390/jmse10070949>
4. **Voronin V.P.**, Artemenkov D.V., Orlov A.M., Murzina S.A. Fatty acid spectra in mesopelagic fishes of the Myctophidae and Stomiidae families collected in the North East Atlantic // *Diversity*. – 2023. – Vol. 15, N. 2. – Article ID. 166. <https://doi.org/10.3390/d15020166>
5. **Воронин В.П.**, Артеменков Д.В., Орлов А.М., Мурзина С.А. Липидный профиль мышечной ткани некоторых мезопелагических видов рыб семейств Stomiidae и Myctophidae с разных глубин моря Ирмингера, Северная Атлантика // *Вопросы ихтиологии*. – 2023. – Т. 63, № 5. – С. 608–620. <https://doi.org/10.31857/S004287522305017X>

На автореферат диссертации поступило 13 положительных отзывов, 7 из них с замечаниями, 6 не содержат замечаний.

Отзывы без замечаний прислали:

1. Никерова Ксения Михайловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель аналитической лаборатории Института леса - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки - Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».
2. Карамушко Лариса Ивановна доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ихтиологии и физиологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Мурманского морского биологического института Российской академии наук.

3. Давидович Николай Александрович доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией водорослей и микробиоты Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - природного заповедника Российской академии наук - филиала Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Российской академии наук».
4. Абрамова Любовь Сергеевна доктор технических наук, профессор, заместитель директора департамента по вопросам качества пищевой рыбной продукции Департамента технического регулирования Государственного научного центра Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии».
5. Шарова Наталья Петровна доктор биологических наук, руководитель лаборатории биохимии процессов онтогенеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук».
6. Новикова Светлана Евгеньевна кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории системной биологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича».
7. Артеменков Дмитрий Владимирович кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник департамента промысловых гидробионтов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

Отзывы с вопросами и замечаниями прислали:

8. Роман Александрович Сидоров кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории липидного обмена Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук»: «1. С. 4 и далее по тексту: автор, говоря о пуле всех липидов в составе мышечной ткани изучаемых рыб, использует термин «общие липиды», что является неверным переводом английского термина «total lipids», который в русскоязычной биохимической литературе имеет устоявшийся перевод «суммарные липиды». 2. С. 5: не совсем корректно говорить «омега-3-6-9-7-липиды». Классификация А «дельта» или со «омега» применяется к ненасыщенным ацилам жирных кислот в составе липидов, но не к липиду как таковому. 3. С. 11: свободные жирные кислоты дериватизируют до их метиловых эфиров не «для придания свойств летучести», а улучшения их физико-химических и хроматографических свойств. 4. С. 11: словосочетание «градиентное термостатирование» противоречит само себе, корректнее говорить об анализе в «режиме политермы»/«политермическом режиме»

или в «режиме программируемой температуры». 5. С. 12: фосфолипиды отнесены к неполярным (нейтральным) липидам. Это не соответствует принятой классификации. 6. С. 16: термин «основная кислота» не совсем корректен. Согласно распространенной классификации Хичкока и Нихолса (1973), кислоты, на долю которых приходится более 5% от суммы жирных кислот, принято называть «главными». 7. С. 17: микроводоросль *Melorisa arctica* является колониальной нитчатой, но не многоклеточной. Понятие «многоклеточности» в строгом его понимании вряд ли можно применить к микроводорослям».

9. Рольский Алексей Юрьевич кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории морских биоресурсов Центра водных биоресурсов Полярного филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»: «Вместе с тем к автору есть ряд вопросов и уточнений. Так, в разделе автореферата «Научная новизна» соискатель говорит о том, что: «Особенности накопления и изменения липидов в мышцах позволили подтвердить осуществление вертикальных перемещений у *S. mentella*, *L. macdonaldi*...». Вместе с тем, наличие вертикальных миграций - хорошо известный факт (по крайней мере для окуня-клювача) и, видимо, следовало бы написать, что особенности накопления и изменения липидов в мышцах, связаны, в т. ч. и с вертикальными миграциями последних. Глава «Обзор литературы». «...Представлен анализ имеющихся в литературе относительно немногочисленных сведений о биологии, экологии и трофических взаимоотношениях изучаемых представителей семейств *Scorpaenidae* (*S. mentella*), *Myctophidae*...». Вероятнее всего, говоря о немногочисленности сведений, автор имел в виду непромысловых рыб мезопелагического комплекса, поскольку информация по биологии, экологии и трофических взаимоотношениях окуня-клювача широко представлена в работах российских и зарубежных исследователей. «Район Северной Атлантики населяют четыре основных вида морских окуней, не считая гибридов - *Sebastes marinus*, *S. mentella*, *S. fasciatus*, *S. viviparus*». Согласно современным представлениям, валидным видовым названием золотистого окуня является *Sebastes norvegicus*, а не *Sebastes marinus*. Кроме того, фраза: «четыре основных вида морских окуней, не считая гибридов», на мой взгляд, не совсем удачная. «Окунь-клювач является представителем семейства *Scorpaenidae*...», «Возраст данного вида может достигать 80 лет, а половозрелость наступает в период 6-17-летнего возраста (Бакай, Мельников, 2008; Мельников, 2006)». Согласно современным представлениям, североатлантические морские окуни рода *Sebastes* относятся к семейству *Sebastidae*, а не к *Scorpaenidae*. Предельный возраст окуня-клювача, по российским данным на которые ссылается соискатель, не превышает 40 лет. Глава «Результаты исследования»

«Установлены существенные различия в содержании О Л между филе «дикого» и «коммерческого» окуня: 7,71 % и 17,64 % сухого вещества соответственно». Согласно результатам автора, значимые различия между «диким» и «коммерческим» образцами окуня-клювача обнаружены для большинства индексов пищевых показателей и метаболических соотношений. Основным фактором таких различий является ненадлежащее хранение рыбной продукции. Однако из результатов не совсем понятно в какой степени указанные различия могут быть обусловлены районом отлова рыбы? Поскольку коммерческие образцы в торговых сетях представлены не только окунем, отловленным в море Ирмингера, а также рыбой из северо-западной Атлантики и морей Северного Ледовитого океана».

10. Кормилец Олеся Николаевна доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории сравнительной биохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук»: «Замечания к работе: 1. Первое положение, выносимое на защиту, не является положением, поскольку представляет собой перечисление результатов и предположений. 2. На рисунке 1 места отбора проб обозначены разными цветами, однако их значение не расшифровано. На рисунке отсутствует трал 83, который есть в таблице 1. 3. Стр. 12, Глава 3, 1. При установлении корреляционной связи не приведена статистическая достоверность г. Это особенно важно, так как сравнение было проведено с немигрирующими рыбами. 4. Стр. 12, Глава 3, I, 1. ФЛ (полярные липиды) ошибочно отнесены к неполярным липидам. 5. Стр. 5 (Положение 1) и стр. 21. «Не мигрирующие по вертикали виды рыб характеризуются накоплением исключительно запасных триацилглицеринов в мышцах...» и «Для немигрирующих по вертикали рыб характерно исключительное депонирование ТАГ как ведущего источника энергии». Нельзя говорить об исключительном депонировании ТАГ у немигрирующих рыб, так как воска и ЭХС в них также были обнаружены, причем их содержание было сопоставимо с содержанием в некоторых мигрирующих рыбах (рисунок 4). 6. Стр. 23. Дублирование результатов в главе Обсуждение. «Кроме доминирующих трофических ЖК общих липидов был...» 7. Стр. 24. Противоречащие друг другу предложения: «... позволил установить схожие черты в питании между...» и «Вероятнее всего, данные различия связаны с активностью питания...» 8. «Таким образом установлено, что длительность хранения замороженной продукции, температурные условия (и особенно флуктуации), а также условия транспортировки оказывают существенное влияние на питательную и биотехнологическую ценность филе окуня-клювача». Это заключение некорректное, так как автор не проводил экспериментов с условиями хранения и

транспортировки рыбы, а проанализировал «коммерческие» образцы, условия хранения, транспортировки и начальные данные по общим липидам и ЖК составу которых автору неизвестны. Вопросы к работе: 1. Стр. 14. «...при увеличении глубины обитания (с 400 до 700 метров), температуры (от 4,7 до 5,0°C) и солёности воды (от 34,90 до 34,94‰)». Достоверны ли различия по температуре и солёности? 2. Стр. 14. Последний абзац Главы 3,1, 1. Автор представил результаты для 7 из 11 рыб. Можно ли предположить, что у остальных видов рыб различий в составе липидов от глубины не наблюдалось? 3. Стр. 22. «Соотношение данных семейств ЖК позволяет регулировать степень вязкости биомембраны мышечной ткани и определяет стратегию адаптации вида рыбы к давлению». Насколько существенное воздействие оказывает соотношение n-3 и n-6 на вязкость мембран? 4. Стр. 24. «Кроме того, опираясь на качественную и количественную идентификацию минорных ЖК растительного происхождения было определено положение исследуемых видов рыб в трофической сети не ниже консументов 2-го порядка». Какие критерии в содержании ЖК растительного происхождения были использованы для установления порядка консументов? 6. «Наличие деструктивных окислительных процессов при ненадлежащем хранении подтверждается также достоверными различиями в индексах соотношения физиологически значимых ЖК...» Можно ли делать такое заключение, если общее содержание липидов в «дикой» и «коммерческой» рыбе существенно различалось (7,71 vs. 17,64% сухого вещества, соответственно)? Очевидно, что при таких различиях в «коммерческой» рыбе содержалось больше запасных липидов, ЖК состав которых отличается от ЖК состава мембранных липидов, что могло привести к различиям в соотношениях ЖК».

11. Водовозова Елена Львовна доктор химических наук, заведующая лабораторией химии липидов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биоорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук: «В описании задач исследования (С. 4) дискуссионной является формулировка задачи 2), начинающаяся словами «Изучить адаптивную роль накопления и вариаций запасных триацилглицерпнов,...». На мой взгляд, вернее было бы сформулировать эту задачу как «Установление связи между адаптацией мезопелагических рыб к условиям изменяющейся среды и накоплением и вариацией ...». С. 5. Неудачная формулировка: «...липиды, которые отличаются значениями плотности молекул, ...». Следовало писать «липиды различной плотности», т.е. относить величину плотности к веществу. С. 10. Дважды при описании спектрофотометрии использован термин «адсорбция» вместо «абсорбция».

12. Дгебуадзе Полина Юрьевна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук»: «В качестве незначительных огрехов в оформлении автореферата вынуждена отметить очень мелкие размеры иллюстраций с практически нечитабельными подписями (названия видов и семейств исследованных рыб едва различимы) и кое-где опечатки в латинских названиях видов животных и склонении фамилий исследователей».
13. Безуглов Владимир Виленович доктор химических наук, профессор главный научный сотрудник Государственного научного центра Федеральное государственное бюджетное учреждения науки «Институт биоорганической химии им. академиком М.М. Шемакина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук»: «Из замечаний можно отметить слишком краткие подписи к рисункам. Например, в подписи к рисунку 4 следовало привести расшифровку сокращений классов нейтральных липидов и указать, что за значения приведены в правом столбце на графике. Несомненно, эти минорные замечания не могут повлиять на высокую оценку проведённого исследования».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований выявлены эколого-биохимические механизмы адаптаций мезопелагических видов рыб, которые отражают особенности жизнедеятельности и липидного обмена у обитателей больших глубин, включая обеспечение вертикальных миграций. Результаты имеют большое прикладное значение для пищевой, биотехнологической и аквакультурной промышленности. Впервые показана толерантность вертикально-мигрирующих мезопелагических рыб к изменению условий окружающей среды за счёт накопления многофункциональных, эфиров холестерина и восков низкой плотности в качестве основного энергетического источника, а также включением холестерина в мембрану клетки для регуляции жидкостности клеточной мембраны. Для не мигрирующих по вертикали видов показано накопление исключительно запасных триацилглицеринов в мышцах и реорганизация мембраны клетки путём варьирования соотношения структурных фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина. В работе высказывается предположение об участии молекул запасных липидов с разной плотностью в механизмах регуляции плавучести у рыб с различной двигательной активностью. Для группы видов (*Sebastes mentella*, *Lampanyctus macdonaldi*, *Symbolophorus veranyi*, *Stomias boa*, *Malacosteus niger*, *Bathylagus euryops*, *Serrivomer beanii*, *Scopelogadus beanii*) установлен механизм регуляции пространственной структуры биомембраны при изменении глубины обитания за счёт

преимущественно n-3 полиненасыщенных жирных кислот, а для *Chauliodus sloani*, *Borostomias antarcticus*, *Notoscopelus kroyeri* – n-6 полиненасыщенных жирных кислот. Продемонстрирована связь между вертикальными перемещениями исследуемых видов рыб и динамикой накопления биомаркерных жирных кислот в градиенте глубин. Дана оценка положения исследуемых видов в трофической сети не ниже консументов 2-го уровня на основе минорного содержания биомаркерных жирных кислот фитопланктона. Показана видоспецифичность пищевых предпочтений исследованных видов рыб зоопланктонным видам, доступность которых определяет пространственно-онтогенетические различия. За счёт активного накопления cis20:5(n-3), cis22:6(n-3) и cis20:4(n-6) жирных кислот в запасных триацилглицеринах отмечено более высокое занимаемое трофическое положение в пищевой цепи *N. kroyeri* и *B. antarcticus*. Оценена потенциальная прикладная значимость исследованных мезопелагических видов рыб. В частности, *L. macdonaldi* является источником антиатерогенных, антитромбогенных и противохолестериновых веществ липидной природы, тем самым потенциально имеет значение как сырьё для биотехнологической промышленности. Такие виды как *S. veranyi*, *N. kroyeri* и *S. beanii* отличаются качеством липидов рыбы/мяса (индекс FLQ) как и промысловый, значимый пищевой объект окунь-клювач. Остальные исследованные виды могут быть использованы для переработки кормов для аквакультуры. Выводы соответствуют поставленным задачам, ясно сформулированы и логично вытекают из общего содержания работы. Теоретическая значимость работы определяется тем, что полученные результаты имеют фундаментальное значение в развитии теории эколого-биохимических механизмов организменного гомеостаза гидробионтов, получения новых сведений по основным биохимическим механизмам устойчивости глубоководных организмов в условиях Северной Атлантики, а также их роли в поддержании круговорота вещества и энергии. Полученные результаты могут быть использованы при решении вопросов рационального природопользования и мониторинга состояния морских экосистем. Исследование выполнено на высоком методическом уровне. Автором лично проведена подготовка и планирование сбора полевого материала, проведены биохимические эксперименты, выполнена обработка полученных в ходе экспериментов данных, построены и описаны статистические модели.

Достоверность результатов подтверждается обеспечением минимально необходимой выборки фактического материала для каждой исследуемой группы веществ при использовании высокочувствительного современного хроматографического оборудования, а также применением сверхчистых референтных веществ и метода масс-спектрометрии при определении качественного состава липидных компонентов. Достоверность также подтверждается использованием общепринятых методов статистической обработки данных, адекватных методов многомерного анализа и машинного обучения, а также отсутствием противоречий между полученными

результатами и немногочисленными ранее опубликованными литературными данными.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и заданы вопросы:

В.Н. Михеев, д.б.н., член совета, главный научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных ИПЭЭ РАН: 1. В конце первой задачи априори постулируется предположение о различных стратегиях адаптации. Но дальше это в задачах не развивается. Какие априорные основания думать и постулировать эти стратегии? И сколько их априори постулируется? 2. То есть вы на общебиологическом уровне выделяете разные группы с альтернативными стратегиями и ищите для них биохимические механизмы? Такой смысл последней части первого вопроса?

А.В. Суров, член-корр. РАН, д.б.н., член совета, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией сравнительной этологии и биокommunikации ИПЭЭ РАН: В начале доклада вы сказали, что актуальностью вашей работы является то, что мезопелагические виды менее изучены в плане эколого-биохимических адаптаций. Правда, как следует из вашего доклада, следует гораздо шире понимать этот вопрос – актуальность гораздо более выражена в этой работе. Скажите, пожалуйста, сравнивали ли вы мезопелагические виды с эпипелагическими видами? У вас вся работа построена на сравнении разных видов мезопелагических рыб. А вот эпипелагические, или донные, или прибрежные, они как-то отличаются по этим показателям? Это известно?

А.О. Касумян, д.б.н., профессор, член совета, заведующий кафедрой ихтиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова: у меня такой вопрос по вертикальным миграциям. Скажите, эти миграции были пищевые, суточные, или это были нерестовые миграции? Как-то это принималось во внимание? Потому что размах суточных миграций во времени большой, а нерестовые могут более короткий период охватывать. И второй вопрос по диапазону этих миграций. Как-то это учитывалось при анализе данных? И каким образом?

А.С. Голубцов, д.б.н., член совета, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией экологии низших позвоночных ИПЭЭ РАН: Скажите, пожалуйста. Есть ли у вас такие данные, что возраст особей влияет на параметры липидного обмена? Насколько однороден по возрастному и размерному составу был материал по каждому виду?

Т.А. Бритаев, д.б.н., профессор, член совета, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией морфологии и экологии морских беспозвоночных ИПЭЭ РАН: 1. Вы упомянули в докладе, что обнаружили кислоты, характерные для макроводорослей. Каким образом могли макроводоросли попасть в пелагиаль? 2. То есть это горизонтальный перенос фрагментов?

Е.Д. Павлов: к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных

ИПЭЭ РАН: 1. Основная привязка вашей работы заключается в том, что есть мигрирующие рыбы, которые вертикально перемещаются, и которые не перемещаются вертикально. При этом, вы говорите о том, что двигательная активность рыб, которые перемещаются вертикально и совершают миграции, она выше. Вы в этом уверены? 2. Когда вы собирали материал, знали ли вы точно мигрировали ваши рыбы или не мигрировали? 3. Ну вы же технически понимаете, что в рамках вида для него много чего характерно, помимо миграции. Для него характерны и разные поведенческие реакции. И, собственно, то, что вы это подтягиваете под миграции, оно может возникать исключительно из-за видоспецифичности, которая обусловлена чем-то другим. 4. Во-первых, в течении онтогенеза очевидно, что рыбы по-разному могут либо мигрировать, либо не мигрировать. Во-вторых, вы действительно уверены в одинаковой скорости роста этих видов рыб? То есть, когда вы берёте одну длину у рыб разных видов вы исходите из того, что они одинаково растут? 5. Линейный рост безусловно. Но темпы роста получается одинаковыми? Если у вас разные темпы роста и при этом вы берете одну и ту же длину у разных видов, то в одном случае у вас будет молодь, а другом случае половозрелые особи. 6. В целом у вас все рыбы были половозрелыми?

Н.Б. Гусев, член-корр. РАН, д.б.н., введенный член совета профессор кафедры биохимии МГУ: вы сказали, что некоторые виды рыб в качестве запасяющих липидов используют эфиры холестерина. А какие-то используют триацилглицерины, что мне казалось более-менее понятным. Но если рыбы используют эфиры холестерина, то параллельно происходят 2 процесса. С одной стороны концентрация холестерина у этих рыб будет больше, с другой стороны холестерин будет влиять на свойства мембран, их жидкость. Как вы сочетаете одно с другим? У вас получаются запасяющие липиды и холестерин, который влияет на текучесть мембран. Как вот эти два параметра вы сопоставляете?

А.Ф. Топунов, д.б.н., введенный член совета, заведующий лабораторией азотфиксации и метаболизма азота ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологий» РАН: у вас в работе вы смотрели рыб Северной Атлантики. Но вы ведь знакомы с рыбами и Южной Атлантики. В частности, вы сами там бывали. Скажите, пожалуйста, а там какие-то похожие закономерности? Или нет? С точки зрения температурного режима или что-то похожее? Насколько рыбы Южной Атлантики похожи на рыб Северной Атлантики в плане вашей работы?

Ю.С. Решетников, д.б.н., профессор, член совета ИПЭЭ РАН: Связи всё же бывают корреляционные и причинно-следственные. Что вы считаете причинно-следственными связями? Например, для мигрирующих рыб. Они могут мигрировать, потому что у них такой широкий набор биохимического состава тела? Или, наоборот, у них такой набор этих биохимических веществ, потому что они мигрируют?

Е.В. Ганжа, к.б.н., научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных ИПЭЭ РАН:

по поводу мембран вы говорили, что есть три механизма, которые наблюдались в вашей работе. Вы не могли бы подробнее остановиться, что конкретно за механизмы? Каким образом они работают? И вытекающий отсюда вопрос – как механизм работы восков, на ваш взгляд, влияет на адаптации, связанные с плавучестью? И ещё вопрос относительно выводов. Тем, кто не имел возможности ознакомиться с авторефератом не могли бы вы зачитать вслух? 2. Значит все эти варианты могут в разных вариациях находиться? Они все присутствуют у мезопелагических рыб, но по-разному работают? Где-то доминирует один тип, где-то другой. Я правильно понимаю? 3. Регуляция плавучести предполагает, что оно может реактивно меняться. И значит есть какие-то механизмы, которые могут извлекать этот воск и вовлекать обратно в процесс?

Соискатель Воронин В.П. ответил на заданные ему вопросы:

На вопросы В.Н. Михеева: 1. Подразумевалось, что из 11 исследуемых видов 9 видов способны вертикально мигрировать в толще воды, а 2 вида нет, что является адаптацией. Из них, например, семейство стомиевые, т.е. 4 исследуемых вида, обладают специфическими адаптациями для хищнического образа жизни, которых нет у других видов. У окуня-клювача из адаптаций отмечено яйцеживорождение, высокая продолжительность жизни, онтогенетическая миграция с возрастом на глубину для разделения кормовой базы вида. Тем самым подразумевалось изучение различий на молекулярном уровне липидного обмена у видов рыб, которые различными способами адаптированы с биологической точки зрения. 2. Да.

На вопрос А.В. Сурова: у них присутствуют некоторые схожие механизмы. В частности, у эпипелагического пятнистого лептоклина отмечалось накопление эйкозапентаеновой и докозагексаеновой жирных кислот в мышечной ткани при увеличении глубины. Такой же механизм мы обнаружили и для мезопелагических рыб. На данный момент изучали только мезопелагические виды рыб на глубинах от 200 до 1000 метров. Однако на перспективу есть планы по сравнению их с эпипелагическими особями, а также с пресноводными глубоководными видами.

На вопрос А.О. Касумяна: для 9 из 11 видов известны суточные, пищевые, вертикальные миграции. Три из этих 9 видов, а именно окунь-клювач, рыба-ехидна и чешуйчатая рыба-дракон, способны также к онтогенетическим вертикальным миграциям. С возрастом они погружаются на глубину. Что касается диапазона миграций, то для данного региона исследований достоверно диапазон миграций известен только для окуня-клювача. Для остальных видов целенаправленных исследований по изучению суточного диапазона миграций не проводилось. Для этих видов известен только диапазон обитания.

На вопрос А.С. Голубцова: возраст определённо влияет на липидный состав. Тем самым, для

липидного анализа брали особей приблизительно равных размерно-весовых характеристик и приблизительно одного возраста, чтобы исключить влияние этих параметров на количественное содержание липидов.

На вопрос Т.А. Бритаева: здесь возможны два варианта: либо поступление по трофической цепи от тех рыб, которые питаются водорослями, либо через детритный опад с верхних слоёв эпипелагиали.

На вопросы Е.Д. Павлова: 1. Да. 2. Так как стратегия адаптации закладывается эволюционно, мы рассматривали характерно ли осуществление вертикальных миграций для вида или не характерно, а не осуществление миграции в момент вылова рыбы. 3. Видоспецифичность мы показали на уровне накопления общих липидов и формирования стратегии компенсаторной реакции на уровне фосфолипидного обмена. Каждый исследованный вид специфично адаптирован по коррекции жидкостности биомембраны. Но по накоплению энергетических липидов виды чётко разделяются на мигрантов и не мигрантов. 4. Мы брали особей с одинаковыми размерно-весовыми характеристиками для липидного анализа. Согласно предыдущим исследованиям по онтогенезу изучаемых видов известен линейный рост особей. 5. Анализировались исключительно половозрелые особи. На анализ брали одинаковые размерно-весовые характеристики для вида. Например, окуня-клювача брали одного размера, а миктофовых, небольших по размеру рыб, другого размера. На анализ брали одинаковые размерно-весовые характеристики именно внутри вида. 6. Да.

На вопрос Н.Б. Гусева: 1. Виды, которые накапливают запасные эфиры холестерина и воска в мышцах, делились на две группы – те, которые преимущественно накапливали эфиры холестерина и воска, и те, которые поддерживали приблизительный баланс соотношения эфиров холестерина и восков с триацилглицеринами при небольшом преобладании триацилглицеринов. У группы видов с приблизительно равным содержанием эфиров холестерина и триацилглицеринов отмечено высокое количество холестерина. Коэффициент холестерина к фосфолипидам у этих видов составлял выше 2. у тех видов, которые накапливают преимущественно эфиры холестерина при малом количестве триацилглицеринов, содержание холестерина было ниже по отношению фосфолипидам. В данном случае мы предполагаем участие эфиров холестерина в реорганизации структуры биомембраны. Известно, что это более редкий процесс, однако такие исследования проводились и были описаны в литературе.

На вопрос А.Ф. Топунова: довольно похожи. В качестве примера хотелось бы привести семейство миктофовых, три вида которых были представлены в этом исследовании. У миктофовых рыб Антарктики или Южной Атлантики отмечено высокое количество эфиров холестерина и восков в мышцах при сравнительно небольшом количестве триацилглицеринов, что является общим характерным механизмом данного семейства. Но, конечно, существуют и определённые различия.

На вопрос Ю.С. Решетникова: я думаю, оба варианта. Рыбы способны вертикально мигрировать, так как у них есть такой набор, но данный набор у них сформировался, потому что появилась необходимость вертикально мигрировать.

На вопросы Е.В. Ганжа: 1. В докладе были отмечены три ключевых механизма. Первое – это включение холестерина в структуру мембраны, что позволяет изменять её ригидность. Далее, это изменение количественного соотношения фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина в мембране. Эти два липида располагаются на разных слоях билипидного слоя. И, наконец, изменение ненасыщенности фосфолипидов, т.е. включение насыщенных жирных кислот или, наоборот, полиненасыщенных жирных кислот в структуру фосфолипидов в зависимости от условий среды. 2. Для вертикально-мигрирующих видов доминирующим механизмом коррекции жидкости мембраны является включение холестерина, как наиболее быстрый процесс из трёх. Изменение ненасыщенности фосфолипидов происходит дольше, в течение нескольких часов. А изменение соотношения фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, который был отмечен у не мигрирующих видов, является ещё более длительным процессом. Все эти механизмы работают совместно, но с разной скоростью. По поводу вопроса, касающегося восков. Молекулы восков являются сочетанием жирной кислоты и жирного спирта, которые локализуются, в основном, во внеклеточном пространстве. Соответственно, воска являются практически недоступными для специфических липаз. Данный класс липидов может быть использован для энергетических нужд организма, но в небольшом объёме. Из немногочисленных исследований известно, что воска являются низкоплотными веществами с плотностью 0,86 г/мл, тогда как плотность морской воды, к примеру, составляет 1,026 г/мл. Из-за низкоплотных свойств они способны изменять плавучесть гидробионтов, что было хорошо показано для веслоногих ракообразных и для некоторых видов рыб. В данном исследовании мы указываем на возможность участия данных липидов в регуляции плавучести у вертикальных мигрантов. Но, при этом, этот механизм остаётся дополнительным механизмом регуляции, а не основным. 3. Основным механизмом остаётся газорегуляция плавательного пузыря. Это скорее как дополнительный биохимический механизм, который способствует более быстрому всплытию.

На заседании 20.11.2024 г. диссертационный совет принял решение: одобрить полученные результаты исследования, основанные на липидном профилировании и характеризующие компенсаторные механизмы эколого-биохимических адаптаций мезопелагических рыб к обитанию на больших глубинах в Северо-Атлантическом регионе и присудить Воронину Виктору Петровичу ученую степень кандидата биологических наук по специальностям 1.5.13. – ихтиология и 1.5.4. – биохимия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.5.13. – ихтиология (биологические науки) и 3 доктора наук по специальности 1.5.4. – биохимия (биологические науки), из участвовавших в заседании 21 члена совета из 25 человек, входящих постоянно в состав совета, дополнительно введены 3 человека, проголосовали: за – 24 члена совета, против - 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета академик РАН



Павлов Дмитрий Сергеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета к.б.н.



Кацман Елена Александровна

20.11.2024 г.

