

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию С. А. Мурзиной "Роль липидов и их жирнокислотных компонентов в эколого-биохимических адаптациях рыб северных морей", представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности  
03.02.06 – ихтиология, 03.01.04. – биохимия

Важность изучения липидов и их жирнокислотных компонентов для пойкилотермных организмов, обитающих при низких температурах, легко понять, если рассматривать основную жизненную стратегию адаптации, направленную на поддержание текучести мембранных структур клеток. Именно такие макромолекулы, как полиненасыщенные жирные кислоты обладают уникальными свойствами: они поддерживают липидный матрикс мембран в функциональном состоянии в широком диапазоне температур, что означает в данном контексте, и при низких тоже. Поэтому, как верно отмечает автор, водные экосистемы полярных широт иногда называют «липид- зависимыми». Однако функциональное значение ряда показателей липидного метаболизма у полярных пойкилотермных организмов исследовано явно недостаточно, хотя этот аспект является ключевым моментом в исследованиях организации арктических экосистем. В связи с этим, диссертационная работа Светланы Александровны Мурзиной, в основе которой лежат оригинальные полевые и экспериментальные исследования холодноводных рыб в условиях естественной среды обитания, и которая посвящена изучению закономерностей и специфических особенностей роли липидов и их жирнокислотных компонентов в поддержании гомеостаза, являющимся важнейшим результатом биохимической адаптации у рыб северных морей, является весьма актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, выводов и списка цитируемой литературы. Первая и вторая главы – это обзор литературы, а также материал и методы исследования. Четыре тематические главы структурированы по видовому признаку рыб, т.е. каждая глава посвящена одному или двум различным видам рыб (всего 6 видов),

относящихся к четырем отрядам: Окунеобразные *Perciformes*, Колюшкообразные *Gasterosteiformes*, Сельдеобразные *Clupeiformes* и Лососеобразные *Salmoniformes*. Функциональное значение каждой из четырех этих глав различаются: 1) Эколого-биохимические адаптации и стратегия жизненного цикла пятнистого лептоклина в Арктике; 2) Липиды и их жирнокислотные компоненты у трехглой колюшки Белого моря; 3) Биохимическая разнокачественность с участием липидов и жирных кислот у беломорской сельди; 4) Липиды и их жирнокислотные компоненты в процессах формирования фенотипических группировок молоди кумжи и атлантического лосося на ранних этапах онтогенеза. Такой подход докторанта позволил ему охватить весьма значительный ряд нерешенных вопросов по механизмам биохимических адаптаций у рыб северных морей. А поскольку такие адаптации так или иначе связаны с изменениями в скорости и направлении метаболических потоков, то организм всегда имеет в своем распоряжении ряд различных стратегических путей на изменяющиеся условия внешней среды, глубокому исследованию которых и посвящена значительная часть работы Светланы Александровны.

Особого внимания (восхищения) заслуживает скрупулезный анализ литературного материала, позволивший автору глубоко проникнуть во все детали и тонкости механизмов липидного метаболизма у пойкилотермных организмов. Данна детальная характеристика энергетических липидов (триацилглицеринов, восков и эфиров холестерина), как основных форм запасания энергии у водных организмов. Анализируются сведения о структуре, свойствах, функциях и специфике биологических эффектов ФЛ (основных компонентов клеточных мембран) и их отдельных классов. Подробно описана концепция трофических биомаркеров, основанная на анализе общих и специфических метаболических изменений липидного обмена и синтеза специфических ЖК различными таксономическими и экологическими группами гидробионтов. И что еще более важно, рассматриваются дальнейшие

пути перемещения этих ЖК, их трансформация, накопление и расходование в трофических сетях морских и пресноводных экосистем.

В главах третьей и четвертой, посвященных центральному вопросу диссертации – выяснению роли липидов и их жирнокислотных компонентов в эколого-и физиолого-биохимических адаптациях рыб северных морей на основе полевых и экспериментальных данных, Светлана Александровна продемонстрировала блестящее владение методами современного биохимического анализа. Полученные ею результаты представляют значительный интерес и обладают абсолютной новизной, поскольку подобного рода комплексных работ, выполненных на материале в условиях естественной среды обитания и на единой методической основе, практически нет.

Главным концептуальным положением не только этих двух глав, но и всей диссертации является вопрос – каким основным требованиям должны удовлетворять все метаболические системы, включая и липидные, чтобы обеспечить поддержание жизни организму при изменении среды обитания в условиях высоких широт. Какие происходят изменения липидов, лежащие в основе биохимических адаптаций у холодноводных морских и пресноводных рыб. Автор приходит к выводу, что устойчивой характеристикой липидного профиля рыб северных морей является тканеспецифическое накопление высокого содержания суммарных липидов и их отдельных классов в организме, зависящее от возраста и стадий репродуктивного процесса. Например, для нормального развития эмбрионов необходим повышенный уровень (n-3) полиненасыщенных жирных кислот и оптимальное соотношение (n-3)/(n-6) жирных кислот в ооцитах.

Высокая степень ненасыщенности липидов у арктическо- boreальных видов рыб поддерживается, как показывает Светлана Александровна, за счет доминирования в их липидном профиле мононенасыщенных жирных кислот, а компенсаторные модификации ненасыщенности обеспечиваются за счет полиненасыщенных и/или насыщенных жирных кислот. Автор предполагает,

что механизмом адаптации сформировавшимся у исследованных рыб (вне зависимости от вида, возраста, экологических условий среды) является высокое содержание и присутствие в тканях и органах олеиновой жирной кислоты среди МНЖК, что демонстрирует ее как генеральную биохимическую «единицу» присутствующую в структуре практически во всех липидах, как структурных, так и, прежде всего, запасных.

В качестве пожелания здесь необходимо отметить следующее. Было бы полезным привлечь в обсуждении и результаты исследований для других холодноводных рыб, особенно арктических, таких как сайка, ледяная треска и др. Сайка является самым главным потребителем планктона в Арктике (в водах с отрицательными значениями температур), и может передавать до 75 % энергии от более низких продуцентов к высшим хищникам.

Значительный интерес в диссертации представляют результаты сравнительного анализа липидного статуса взрослых особей атлантического лептоклина, обитающего у архипелага Шпицберген и люмпена Фабриция из различных районов Белого моря. Результаты Светланы Александровны показали практически равное содержание ОЛ у исследуемых видов рыб, что указывает на генетическую детерминированность липидов. Т.е. экологические условия разных регионов обитания (Арктика, Субарктика) для этих двух видов не влияют на уровень суммарных МНЖК, однако установлено варьирование количества отдельных ЖК: 18:1(n-7), 20:1(n-7), 22:1(n-11), что может быть связано с особенностями генетически детерминированных процессов биосинтеза и модификации отдельных ФЛ и ЖК.

При этом хотелось бы остановиться на терминологии, связанной с характером географического ареала исследуемых рыб. По всему тексту диссертации лейтмотивом проходит словосочетание «все исследованные арктические виды рыб», но по существу, в ряду исследованных видов истинно арктических нет. Поскольку арктический – это постоянно живущий

размножающийся в арктических водах вид (например, два эндемика Арктики – сайка *Boreogadus saida* и черная или ледяная треска *Arctogadus glacialis*).

Атлантический лептоклин *Leptoclinus maculates* – арктическо- boreальный вид (распространенный и в арктических, и в boreальных водах), температура воды в местах сбора проб лептоклина в заливах о. Западный Шпицберген была всегда положительной, от 0 до 4,2 °С. Температура обитания этого вида колеблется от –1,6 до 11,5 °С.

Люмпен Фабриция *Lumpenus fabricii* – арктическо- boreальный вид (распространенный и в арктических, и в boreальных водах), температура воды в местах сбора проб Белого моря составляла 5,9–6,5 °С. Температура обитания этого вида колеблется от –1,8 до 10,5 °С. Остальные четыре исследованных вида – boreальные. К настоящему времени опубликован ряд аннотированных списков и каталогов рыб морей Арктики и сопредельных вод, где указана терминология, связанная с характером географического ареала: Андрияшев, Чернова, 1994; Карамушко, 2008; Парин, Евсеенко, Васильева, 2014, Mecklenburg et al., 2013, 2018.

Отмечу также, что трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* L. является представителем отряда Колюшкообразные *Gasterosteiformes*, а не Скорпенообразные *Scorpaeniformes*, как отмечено в диссертации.

Указанные замечания (скорее пожелания) не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Светланы Александровны. В основе работы лежит огромный оригинальный эмпирический материал и глубокий анализ механизмов липидного метаболизма и эколого-биохимических адаптаций рыб северных морей.

В заключение необходимо отметить следующее. Результаты исследований, представленные диссидентом, в подавляющем большинстве случаев обладают абсолютной новизной и являются серьезным вкладом в науку. Диссидентская работа представляет законченное оригинальное исследование в области экологической биохимии и ихтиологии.

Таким образом, диссертационная работа Светланы Александровны Мурзиной "Роль липидов и их жирнокислотных компонентов в эколого-биохимических адаптациях рыб северных морей" полностью соответствует требованиям пп. 9–14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора биологических наук по специальностям 03.02.06 – ихтиология, 03.01.04. – биохимия.

Доктор биологических наук (специальность 03.00.10 – ихтиология), старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории ихтиологии и физиологии рыб Мурманского морского биологического института КНЦ РАН. 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, тел.: (8152) 253963  
karamushkol@mmbi.info,  
karamushkol@yahoo.com

Лариса Ивановна  
Карамушко

4 октября 2019 г.

*Портич Карамушко д.и. удостоверено*

