

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертационную работу
Олеси Николаевны Кормилец

«Жирные кислоты в трофических сетях экосистем внутренних вод»,
представленную на соискание учёной степени доктора биологических наук
по специальности 03.02.10 – гидробиология (биологические науки)

Актуальность темы диссертации. Известно, что жизнь в водоеме, в отличие от наземных условий, характеризуется большей зависимостью от факторов среды, поэтому вопросы взаимоотношений гидробионтов и среды их обитания относятся к числу актуальных проблем фундаментальной гидробиологии. Решению одного из аспектов этой проблемы, связанного с закономерностями переноса органического вещества в виде полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) по трофическим цепям водоема и далее в наземные экосистемы посвящена диссертационная работа Олеси Николаевны Кормилец. Вариабельность содержания жирных кислот (ЖК) в гидробионтах очень высока и зависит от комплекса различных факторов, что обуславливает необходимость их изучения с целью выявления ведущих из них, влияющих на т.н. «урожайность» ПНЖК в водных экосистемах.

Цель данного исследования состояла в установлении значимости качественной оценки органического вещества, на примере состава и содержания жирных кислот, для выявления трофической структуры водных экосистем и определения величины потоков этих веществ, поступающих к консументам разных трофических уровней, включая человека. Задачи исследования адекватны поставленной цели.

Общая характеристика диссертации. Диссертация написана и оформлена по традиционному плану, состоит из введения, обзора литературы, описания района работ, материалов и методов, четырёх глав,

включающих обсуждение результатов, заключения, выводов и списка используемой литературы, а также списка сокращений. Работа изложена на 350 страницах, проиллюстрирована 36 рисунками, данные приведены в 43 таблицах. Список литературы включает 716 источников.

Во **введении** обосновывается актуальность и значимость темы исследования, сформулированы цель, задачи работы и положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также приведена информация о публикациях, апробации результатов работы и личном вкладе автора.

В **обзоре литературы**, изложенном в двух разделах, подробно рассматриваются сведения о жирных кислотах и путях их синтеза у бактерий, фотосинтезирующих эукариот, пресноводных беспозвоночных, а также у пресноводных и морских рыб. Приводится описание потребностей рыб в полиненасыщенных жирных кислотах (ПНЖК) семейств омега-3 и омега-6 в зависимости от таксономической принадлежности, местообитания, возраста, пола и ряда других факторов. Особое внимание уделено важной роли ПНЖК во многих процессах жизнедеятельности рыб. Обсуждается значение ПНЖК как предшественников в синтезе эйкозаноидов. При этом отмечается, что основным источником этой группы жирных кислот является не собственный синтез, а пища. Рассмотрены функции жирных кислот и эйкозаноидов. Отдельное внимание в обзоре литературы уделяется значению ПНЖК для здоровья человека и в этом аспекте обозначены основные источники ПНЖК в питании человека и обсуждены результаты приведенных в литературе медицинских исследований, демонстрирующих значение ЭПК и ДГК для профилактики и лечения некоторых болезней человека.

Глава 2 содержит сведения об объектах исследования, деталях отбора биологических образцов в полевых условиях, подготовке и проведении лабораторных экспериментов и о методических приёмах и условиях проведения биохимических анализов. Все исследования выполнены с использованием современных методических и инструментальных подходов.

Использованные методы исследований и статистической обработки данных обеспечили получение достоверных результатов.

Результаты работы, представлены в четырёх главах. В главах 3 и 4 на основании присутствия маркерных ЖК уточнены спектры питания ряда беспозвоночных и позвоночных животных. Так, например, установленные в исследовании спектры питания гидробионтов позволили объяснить, почему в Каневском водохранилище успешно сосуществуют виды рода дрейссен и уний, а в Рыбинском водохранилище один вид дрейссен вытесняет другой вид. Показано, что спектры питания отдельных популяций одного вида гаммарусов, обитающих в разных по гидрологическим и экологическим факторам, различны. Обнаружен интересный факт, связанный с изучением спектров питания головастиков, свидетельствующих о наличии в их рационе пищи животного происхождения, что в целом меняет представление о трофической структуре некоторых водных экосистем. Данные о ЖК составе популяций нерки позволили не только установить различия в спектрах питания данных рыб в зависимости от возраста и местообитания, но и выявили ЖК, которые могут выполнять роль индикаторов местообитаний рыб, что может быть полезным при оценке рыбной продукции, реализуемой в торговых сетях.

В главах 3 и 4 также приведены результаты, доказывающие ведущую роль таксономической принадлежности видов планктонных и бентосных животных в формировании их ЖК состава. Были определены таксоны с высокой и низкой пищевой ценностью для рыб в отношении ПНЖК. Результаты указывают на то, что изменение видового состава планктонного или бентосного сообщества водоема в результате изменения температуры, инвазий чужеродных видов или, возможно, других факторов приведёт к изменению пищевой ценности основного источника пищи рыб. Отдельно обсуждена оценка применения метода изотопного анализа для точной идентификации источников происхождения органического вещества в трофических сетях, свидетельствующая о бесперспективности его

использования для изучения спектров питания консументов в водных экосистемах, поскольку результаты лабораторных и полевых экспериментов противоречат главному принципу метода ИАОВ об идентичности изотопных соотношений незаменимых ЖК в пище и консументах.

В главе 5 приведены данные об эффективности переноса общего органического углерода, незаменимых ПНЖК семейства омега-3, а также тех ПНЖК, которые не используются животными для построения клеточных мембран. Результаты этого впервые примененного подхода, вносят корректировки в одну из основных парадигм экологии - «пирамиду продукции» Линдемана, согласно которой вещество и энергия передаются от предыдущего звена к следующему с 10% эффективностью.

В главе 6 рассмотрены наиболее ценные в пищевом отношении источники омега-3 ПНЖК водного происхождения с точки зрения их присутствия в питании человека, учитывая тот факт, что население Земли уже сейчас испытывает дефицит омега-3 ПНЖК в пище. Показана высокая пищевая ценность сайры, сельди и шпрот в консервированном виде. Суточная доза этих ПНЖК содержится в 40 – 70 г консервов. В качестве наземного источника омега-3 ПНЖК была исследована печень сельскохозяйственных животных и было показано, что, несмотря на то, что содержание в ней этих жирных кислот сопоставимо с таковым у некоторых рыб, например, тилапии, нильского окуня, линя, золотистого карася и густеры, оно сравнительно мало, чтобы служить альтернативой рыбе.

Результаты, приведенные в диссертации, позволили автору сделать **заключения и выводы**, которые соответствуют поставленной цели и задачам, отражают большой объём проделанной работы и имеют фундаментальное значение для гидробиологической науки.

Замечания к работе.

1. Задачу № 5, на мой взгляд, следовало бы подкорректировать. Можно было бы предложить следующее – «Оценить в сравнительном аспекте продукцию

и пищевую ценность представителей водных и наземных экосистем как источников омега-3 ПНЖК».

2. Используемые автором термины «селективное потребление», «селективное питание» в случае изучения питания у сестонофагов, которые путем фильтрации получают в составе сестона все его компоненты (ограничение только по размеру частиц) не совсем корректен. При обсуждении данных об изменениях жирных кислот - маркеров отдельных компонентов сестона - более уместен термин «селективное накопление», который отражает особенности метаболизма жирных кислот у исследуемого организма. То есть те кислоты, которые встраиваются в метаболизм, они накапливаются в составе мембранных или запасных липидов и/или используются на нужды организма, а остальные «проходят транзитом». Чтобы говорить о «селективном потреблении»/«селективном питании» необходимо рассчитывать коэффициент усвояемости обсуждаемых источников маркерных жирных кислот, который учитывает не только компонентный состав сестона, но и количество всех поступивших и выведенных из организма жирных кислот, что в условиях полевых экспериментов сделать сложно, поэтому следует говорить о "селективном накоплении".

3. При изучении влияния температуры воды и таксономической принадлежности планктонных беспозвоночных на их жирнокислотный состав (Раздел 3.1) обнаружено, что клadoцеры и копеподы из холодноводных местообитаний отличаются высоким содержанием **14:0** и **18:4n-3** кислот. Автор работы объясняет этот феномен с позиции температурной адаптации. Далее (Раздел 3.2.) при изучении влияния таксономической принадлежности бентосных беспозвоночных на их жирнокислотный состав, у гаммарусов из холодноводного озера (оз. Светлое) также было отмечено повышенное содержание **14:0**, **18:4n-3** и **18:2n-6** кислот. Однако в данном случае автор указывает на отсутствие температурного воздействия и делает вывод о специфике спектра питания гаммарусов. Может быть, в данном случае следует обсудить полученные

результаты с позиции участия данных кислот в метаболизме ракообразных при пониженных температурах (с привлечением данных из литературы)? Селективное накопление (но не потребление) этих кислот у данных ракообразных может быть связано с особенностями их метаболизма (например, замедление общего метаболизма в условиях низких температур). Указанные жирные кислоты являются общими метаболическими предшественниками для синтеза длинноцепочечных жирных кислот, который, вероятно, в условиях низких температур у них замедлен, что в конечном итоге, возможно, приводит к селективному накоплению данных кислот в тканях ракообразных. При обсуждении жирнокислотного состава гаммарусов из оз. Собачье, которое также классифицировано авторами как холодноводное, следует уточнить глубину сбора проб для анализа и доступность пищи в данных условиях обитания, которые могут значительно отличаться от условий обитания гаммарусов в сравнительно небольшом и мелководном оз. Светлое, и тем самым обеспечивать различия в составе жирных кислот. Более того, жирнокислотный анализ источников пищи, в частности сестона (подобно тому, что был проведен в Разделе 4.1), позволил бы оценить вклад «доступности пищевых источников» в выявленные различия в жирнокислотном спектре у гаммарусов, собранных из различных озер.

4. В разделе 3.1 автор обсуждает различия в содержании длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот ($22:5n-3$ и $22:5n-6$) и высказывает предположение об их важной роли для планктонных беспозвоночных, но не конкретизирует ее. Может ли автор уточнить, есть ли в литературе данные об участии этих жирных кислот в различных процессах жизнедеятельности беспозвоночных, раскрывающих их важную роль? Необходимо отметить, что выводы, сделанные автором в заключении данного раздела, согласуются с выводами нашего сотрудника А.Л. Рабиновича (например, Биофизика, 2008; Успехи совр. биологии, 1994; Высокомолекулярные соединения, 2013; Журнал физической химии, 2015; Biochimica et Biophysica Acta (BBA), 2016)

о важной роли насыщенных, мононенасыщенных и диненасыщенных жирных кислот при обеспечении гомеовязкостной функции мембран, тогда как длинноцепочечным полиненасыщенным жирным кислотам отводится специфическая роль в составе биомембран.

5. В главе 6, обсуждая данные о содержании эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) жирных кислот в консервированной рыбе (сайра, сельдь, шпроты), было бы интересно привести данные, может быть литературные, о содержании этих ЖК в свежевывловленной рыбе.

6. Обсуждение результатов было бы полнее и интереснее, если бы автор использовал не только количественное содержание отдельных ЖК для интерпретации действия трофического фактора на исследуемые виды рыб, но и их соотношения и индексы, поскольку они могут дать дополнительную информацию как о метаболизме ЖК, так и о поступлении их "извне".

7. Имеется небольшая ремарка к выводу № 4. Разумеется, филогения вносит вклад в состав и содержание жирных кислот водных беспозвоночных, однако она в большей степени влияет (генетический контроль) на содержание 22:6 n-3 ЖК (ДГК) фосфолипидов (Peng et al., *Comp. Biochem. Physiol.* 2003). Нельзя забывать, что значительный вклад в эти параметры вносят экологические факторы (температура, соленость, давление и качество доступной пищи), особенно в состав ЖК ТАГов. Для каких-то видов и организмов может быть на первом месте филогения, а для каких-то – экология (Meyer et al., 2018. *Abiotic and biotic drivers of fatty acid tracers in ecology: A global analysis of chondrichthyan profiles*; Malcicka et al., 2018. *An evolutionary perspective on linoleic acid synthesis in animals*; Monroig, Kobeya, 2018, *Desaturases and elongases involved in polyunsaturated fatty acids biosynthesis in aquatic invertebrates: a comprehensive review*).

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общего положительного впечатления о работе.

Заключение. Таким образом, исходя из актуальности, новизны, теоретической и практической значимости полученных результатов для

фундаментальной биологии, можно заключить, что рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и полностью соответствует всем критериям п. 9, "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор – **Олеся Николаевна Кормилец**, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология (биологические науки).

11 сентября 2019 г.

Нина Николаевна Немова
Доктор биологических наук
профессор, член-корреспондент РАН
руководитель научного направления ФГБУН ФИЦ
«Карельский научный центр Российской академии наук».

185910, г. Петрозаводск
ул. Пушкинская, д.11
Тел.: +7 9217268842
e-mail: nemova@krc.karelia.ru
nnnemova@gmail.com

11 сентября 2019 г.

Подпись Немовой Н.Н. заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук, к.б.н.

(О.О. Предтеченская)

