

ОТЗЫВ
официального оппонента

на диссертационную работу **Кормилец Олеси Николаевны**
«Жирные кислоты в трофических сетях экосистем внутренних вод»,
представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по
специальности 03.02.10 – Гидробиология (биологические науки)

Диссертационная работа О.Н. Кормилец посвящена разработке методов качественной оценки состава и содержания жирных кислот (ЖК) в трофических цепях водных экосистем и количественному определению потоков этих ЖК, поступающих к консументам разных трофических уровней.

Количественная и качественная оценка потоков органического вещества по трофическим цепям является одной из ключевых задач экологии, особенно, если речь идет об изучении закономерностей перемещения физиологически ценных органических веществ, таких как длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства омега-3 (эйкозапентаеновая (ЭПК, 20:5n-3) и докозагексаеновая (ДГК, 22:6n-3) кислоты). В водных экосистемах эти ЖК синтезируются в основном некоторыми видами микроводорослей и далее по трофическим цепям транспортируются от продуцентов к консументам – от рачков до человека. Поэтому выявление закономерностей транспорта этих ЖК по трофическим цепям экосистем, а также определение наиболее ценных источников ЭПК и ДГК представляет особый интерес. Кроме того, специфические ЖК, включая ПНЖК, могут использоваться в качестве таксономических маркеров для различных групп водорослей и бактерий, а возможно – и животных. В этой связи особое значение приобретает поиск специфических маркеров для разных таксономических групп и, соответственно, адекватных методов их оценки. **Целью данной работы** являлась оценка состава и содержания ЖК для выявления трофической структуры водных экосистем и определения величины потоков ЖК, поступающих к консументам разных трофических уровней. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Уточнение положения консументов в трофической сети на основании маркерных ЖК и их изотопного состава.
2. Установление закономерностей переноса ЖК по трофическим сетям водных экосистем.
3. Определение факторов, влияющих на состав и содержание ЖК некоторых водных консументов.
4. Определение пищевой ценности различных видов гидробионтов для высших консументов (в данном случае – рыб) на основе содержания длинноцепочечных омега-3 ПНЖК.

5. Верификация постулата о том, что продукция водных экосистем является основным источником омега-3 ПНЖК для человека по сравнению с продукцией наземных экосистем.

Забегая вперед, можно с уверенностью констатировать, что все поставленные в диссертации задачи успешно выполнены, и эпиграфом к этому отзыву (а, может быть и к самой диссертации) могло бы послужить высказывание Жана Антельма Бриья-Саварена «Скажи мне, что ты ешь, и я скажу – кто ты» (или, в вольном переводе – «*We are what we eat*»), озвученная им в книге «Физиология вкуса, или трансцендентная кулинария» в 1826 г.

Диссертационная работа изложена на 350 страницах и включает 36 рисунков и 43 таблицы. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов и списка используемой литературы, списка сокращений. Обзор литературы охватывает 716 источников, в т.ч. 51 – на русском языке. Описание методов приведено во второй главе. Результаты исследований и их обсуждение представлены в четырёх главах.

Глава 1 посвящена описанию ЖК континентальных вод и, наряду с описанием ЖК бактерий, фотосинтезирующих эукариот и прокариот, беспозвоночных, пресноводных и морских рыб, содержит данные о незаменимых ПНЖК в физиологии и метаболизме рыб и человека и их источниках.

Глава 2 раскрывает методические особенности выполненной работы и описывает районирование образцов, протоколы, материалы и методы исследования, которые включали анализ общего содержания углерода и азота, анализ ЖК с получением диметилдисульфидных и диметилноксазолиновых производных, изотопный анализ отдельных ЖК, различные расчеты продукции.

В четырех главах (Главы 3-6) представлены результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.

Глава 3 посвящена определению роли филогенетических и экологических факторов в формировании ЖК состава пресноводных беспозвоночных. Рассмотрено влияние температуры воды и таксономической принадлежности планктонных и бентосных беспозвоночных на состав их ЖК. Показано, что бентосные беспозвоночные имеют разную пищевую ценность для рыб. Поэтому смена видового состава бентосного сообщества в результате инвазии чужеродных видов может привести к изменению качества кормовой базы бентоядных рыб. Показано, что на внутривидовую изменчивость ЖК беспозвоночных, обитающих в условиях, различающихся по температуре и солёности воды, а также по наличию/отсутствию хищников (рыбы) в

водоёмах наибольшее влияние оказывает рацион питания исследуемых видов (см. потенциальный эпиграф), а не условия обитания (температура, солёность и т.п.).

Глава 4 описывает исследование спектров питания с помощью ЖК маркеров на примере двустворчатых моллюсков родов *Dreissena* и *Unio*, а также амфибий и рыб. Состав ЖК используется для определения спектров питания водных организмов. Различия в ЖК составе разных моллюсков связано с их местами обитания и характерным для этих мест спектрами питания. Так, согласно распределению маркерных ЖК, виды *Dreissena* преимущественно потребляют планктонные микроводоросли и бактерии, в то время как представители *Unio* питаются детритом и бентосными микроводорослями.

Исследование ЖК состава трех видов головастиков, а также сравнение ЖК одного вида, обитающего в разных водоемах, позволило выявить пикантные подробности из их жизнедеятельности: оказалось, что вопреки существующему мнению о том, что головастики потребляют только растительную пищу и донные осадки, большинство исследованных видов хищничают и потребляют пищу животного происхождения (стр. 198).

На примере исследования различных популяций нерки показано, что определение пищевой ценности рыб для человека возможно только на основании абсолютного содержания ЭПК и ДГК, в то время как относительное содержание ПНЖК для этой цели не подходит. Показано также, что общее содержание триглицеридов и ЭПК/ДГК в них определяется образом жизни и ареалом обитания рыбы, а в конечном счете – доступным для нее спектром (рационом) питания.

Как биохимику, мне кажется, что использование маркерных ЖК является более прогрессивным и эстетичным методом по сравнению с обследованием содержимого кишечника головастиков и других животных на предмет обнаружения в них останков водных насекомых, зоо- и фитопланктона и проч., особенно учитывая, что желудки и кишечник хищных видов зачастую оказываются совершенно пустыми (стр. 174-175 диссертации), а если и заполненными, то – порою – непонятно чем (стр. 182). Дополнительными методами оценки исследования рациона питания могли бы, вероятно, служить и NGS-подходы, базирующиеся на определении метагеномных последовательностей.

Глава 5 поднимает вопрос об эффективности переноса веществ с разной физиологической ценностью по трофическим цепям водных экосистем. Расчет эффективности переноса ПНЖК между звеньями трофических цепей показывает, что переноса n-3 ПНЖК в трофических цепях водных экосистем и из водных в наземные экосистемы существенно выше эффективности

переноса общего органического углерода. Это означает, что физиологически-активные и «облигатные» для развития организмов субстанции имеют приоритетные каналы транспортировки даже на уровне целых экосистем – наблюдение сильное и, вероятно, требующее дальнейшего серьезного обоснования.

Глава 6 посвящена характеристике основных пищевых источников n-3 ПНЖК для человека и поиску альтернативных рыбе источников n-3 ПНЖК. Анализ данных показал, что наиболее вероятный дополнительный ресурс ПНЖК – печень сельскохозяйственных животных, может являться лишь дополнительным источником в питании человека. Полученные данные и выполненные расчеты подтверждают приоритетное значение природных рыбных ресурсов как основного пищевого источника ЭПК и ДГК для человека.

Хочется особо отметить, что представленная работа оперирует большими объемами данных, для обработки которых требуется серьезная статистическая база и даже кластерный анализ. Эта часть исследования наглядно и выпукло присутствует в диссертационной работе.

Вопросы и комментарии по работе:

- 1) Отчего 20:5n-3 является маркером диатомей, а, например, не золотистых водорослей?
- 2) Стр. 218: «Известно, что в растениях десатуразы, участвующие в синтезе 18:2n-6 и 18:3n-3, “отсчитывают” место десатурации с метильного конца молекулы, в то время как $\Delta 6$ десатураза, синтезирующая 18:4n-3 из 18:3n-3, “отсчитывает” место десатурации с карбоксильного конца молекулы (Sperling et al. 2003)». $\Delta 12$ десатураза не «считает» от метильного конца. Она «отсчитывает» три атома углерода от первой двойной связи (n3).
- 3) К вопросу о «канализованности» транспорта ПНЖК в трофических цепях: зачем цапля ест густеру с низким содержанием ПНЖК, она что – не может найти себе более полезную пищу?
- 4) В связи с выводами Главы 6: как оцениваются перспективы использования микроводорослей для промышленного получения триглицеридов, обогащенных n-3 ПНЖК?

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что автором выполнен огромный объем комплексной и кропотливой работы (определены относительные и абсолютные содержания ЖК ~ 100 видов организмов из разных мест обитания), требующей исключительного внимания, огромного терпения и высокой исполнительской квалификации. Результаты и положения диссертации опубликованы в известных отечественных и международных

рецензируемых изданиях, включая такие высокорейтинговые журналы как *Lipids, Food and Chemical Toxicology, Limnologica, Journal of Food Science* и др., что подчеркивает высокую квалификацию автора и свидетельствует о признании этих работ международным профессиональным сообществом.

Данная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований обнаружены новые аспекты переноса вещества в трофических цепях разных экологических ниш. Кроме того, определены организмы и продукты из них, наиболее подходящие в качестве источника ценных ПНЖК для человека.

Диссертация производит впечатление цельной, завершенной работы с очевидными точками дальнейшего развития. Выводы из работы обоснованы, автореферат полностью отражает содержание диссертации. Таким образом, данная диссертационная работа полностью отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертационным работам, а ее автор, Кормилец Олеся Николаевна, несомненно, заслуживает присуждение ей ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 – Гидробиология (биологические науки).

Официальный оппонент:

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук
доктор биологических наук, профессор
(специальность – физиология растений)



Д.А. Лось

20 сентября 2019 г.

Лось Дмитрий Анатольевич
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук
127276 г. Москва, ул. Ботаническая 35
тел. 8-499-6785311
эл. почта: losda@ippras.ru

П. Д. ЛОСЬ
ЗАВЕРГЕН
ЗАВ. ОТА. КАДРОВ

