

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Анастасии Евгеньевны Рудченко «Роль трофических факторов в формировании жирнокислотного состава рыб, обитающих в водоемах Красноярского края», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология (биологические науки)**

Фактически единственным полноценным источником эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК)  $\omega 3$  серии для человека является рыба. Накопленная информация демонстрирует значительную вариабельность состава жирных кислот различных видов рыб, который в значительной мере определяется не только систематическим положением вида, но и шириной пищевого спектра. Представленная работа посвящена выявлению экологических факторов, влияющих на состав жирных кислот и определяющих пищевую ценность промысловых рыб как источника ЭПК и ДГК. Исследование трофических связей между видами и путей переноса органического вещества по трофическим цепям – важное направление гидробиологии.

**Актуальность темы диссертации** определяется, прежде всего, важностью  $\omega 3$  ПНЖК для здоровья человека в связи с их участием в формировании мембран клеток головного мозга, зрительного анализатора и биологических мембран других органов и тканей, кроме того они затрагивают все основные патогенетические звенья развития сердечно-сосудистых заболеваний. Особое внимание среди них привлекают эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая кислоты (ДГК), главным пищевым источником которых является рыба. Установление влияния кормовой базы, степени эвтрофированности водоема на состав жирных кислот рыб и накопление незаменимых длинноцепочечных  $\omega 3$  ПНЖК вносит важный вклад в понимание путей переноса жирных кислот по пищевым цепям водоемов и позволяет определить оптимальный период вылова рыб для получения продукции с наибольшей пищевой ценностью. Именно в русле развития этой продуктивной проблемы была выполнена представленная работа.

**Цель данного исследования** состояла в определении различных экологических факторов, таких как тип питания рыб, состав кормовой базы водоемов и уровень трофности водоемов, на состав жирных кислот, уделяя особое внимание содержанию незаменимых длинноцепочечных  $\omega 3$  ПНЖК, в промысловых рыбах, распространенных в водоемах Красноярского края. Для достижения поставленной цели автор сформулировал 4 задачи.

### **Наиболее существенные научные результаты, отвечающие критериям новизны.**

Соискателем определены спектры питания широкораспространенных промысловых видов рыб из водоемов Красноярского края – щуки, окуня, плотвы и леща, на основании результатов анализа состава жирных кислот и соотношения стабильных изотопов углерода и азота. Установлено, что виды-ихтиофаги отличаются высоким содержанием физиологически важных  $\omega 3$  ПНЖК по сравнению с рыбами, питающимися планктоном и бентосом, что доказывает эффективный перенос ПНЖК по трофическим цепям водоемов. Показано влияние сезонных изменений кормовой базы на состав и содержание жирных кислот двух видов промысловых рыб. Соискателем проведена оценка уровня биологически активных  $\omega 3$  ПНЖК в рыбах из водоемов различной трофности. Выявлено, что рыбы, обитающие в мезотрофных водоемах, демонстрировали наибольшее содержание ЭПК и ДГК по сравнению с этими же видами из олиготрофных и эвтрофных водоемов.

Результаты, полученные А.Е. Рудченко не только расширяют фундаментальные знания о питании рыб и переносе органического вещества по пищевым цепям, но они интересны с практической точки зрения, поскольку, позволяют определить оптимальный период вылова рыбы для получения продукции, обладающей высокой пищевой ценностью с наибольшим содержанием биологически активных ЭПК и ДГК. Полученные данные о содержании  $\omega 3$  ПНЖК в рыбах из водоемов разной трофности могут быть использованы при планировании промысла и аквакультуры этих видов рыб.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертация написана по традиционному плану, состоит из введения, литературного обзора, описания материалов и методов, трех глав, включающих обсуждение результатов, выводов и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 154 страницах, проиллюстрирована 8 рисунками и 17 таблицами, содержит 3 приложения. Список литературы включает 239 источников.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулирована цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, а также дана информация о публикациях и личном вкладе исследователя.

В обзоре литературы, который включает 5 подразделов, где в деталях описываются разнообразные структуры жирных кислот, их функции в организме и пути метаболизма. Особое внимание уделяется полиненасыщенным жирным кислотам  $\omega 3$  и  $\omega 6$  серий и синтезу эйкозаноидов. Дается оценка биологической активности этих липидных медиаторов, регулирующих метаболические процессы в организме человека. Значительное внимание уделяется участию ПНЖК как в возникновении патологий, так и в профилактике и

комплексной терапии патологических состояний. Основным источником  $\omega 3$  ПНЖК для человека является рыба и морепродукты. В связи с этим, значительное внимание соискатель уделяет синтезу жирных кислот продуцентами и их передаче по пищевым цепям в водных экосистемах. Рассмотрены экологические факторы, влияющие на состав и содержание жирных кислот в рыбах. Существующая мировая литература по теме диссертации освещена полно, описывается текущее состояние, формулируются наиболее актуальные вопросы. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости изучения влияния трофических факторов на накопление эссенциальных жирных кислот в промысловых рыбах.

Экспериментальная часть кроме описания деталей сбора биологических объектов исследования, характеристики водоемов включает информацию о методических приемах и условия проведения анализов. В работе успешно были использованы как ставшие уже классическими методы анализа, так и новые методы исследования пищевых спектров рыб, включающие микроскопический анализ пищевого комка, метод стабильных изотопов и анализ жирных кислот.

Обсуждение результатов работы, выполненной соискателем и представленной в трех главах, содержит обширный экспериментальный материал. Соискателем выполнена огромная и кропотливая работа. Центральную часть работы составляет изучение влияния кормовой базы, ее сезонных изменений и типа питания на состав жирных кислот ихтиофагов (окунь и щука) и планктоядных и бентоядных (плотва и лещ) видов, обитающих в Красноярском водохранилище. Пристальное внимание уделено оценке количественного содержания физиологически важных ПНЖК в биомассе изученных рыб. Доказано, только ДГК, а не ЭПК, избирательно накапливается в организмах более высокого трофического уровня. Пристальное внимание уделено изучению изменения состава жирных кислот в органах и тканях окуня в период созревания гонад и нереста. Автору с высокой долей достоверности удалось показать, что состав жирных кислот мышечной ткани окуня зависит преимущественно от его пищевых источников и практически не испытывал влияния репродуктивного цикла. Особое внимание уделено оценке пищевой ценности окуня, определяемой как содержание  $\omega 3$  ПНЖК на единицу массы, что позволило рекомендовать добычу окуня в зимне-весенний период. Обсуждается связь состава и содержания жирных кислот рыб со степенью трофности водоемов. Убедительно доказано, что мезотрофные пресноводные водоемы предпочтительней для рыболовства и аквакультуры карпообразных, окунеобразных и щукообразных, с повышенным содержанием  $\omega 3$  ПНЖК.

Соискатель демонстрирует свободное владение широким спектром современных методов и подходов в области использования жирных кислот как трофических маркеров, которые использованы в комплексе с результатами анализа стабильных изотопов. Прекрасно

дополняет исследование и придает логическую завершенность статистический анализ огромного массива полученных данных.

В целом, выводы диссертации логически вытекают из проведенных исследований и свидетельствуют о решении поставленных задач.

Полнота опубликования материалов, качество и количество публикаций (4 статьи) вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Анализ литературы и полученных в ходе исследования результатов показывает, что А.Е. Рудченко представляет научную школу, обладающую несомненным приоритетом в исследовании трофических связей в пресноводных экосистемах и путей переноса органического вещества по трофическим цепям на основе анализа жирных кислот и стабильных изотопов. Полученные автором результаты обладают новизной, установленное влияние трофических факторов на состав жирных кислот рыб, обитающих в водоемах Красноярского края, перспективны и значимы для промышленного рыболовства и аквакультуры.

Несмотря на научную значимость диссертационной работы, возникает много замечаний и вопросов.

1. Задача 4 «*Выявить влияние трофического типа экосистемы водоема...*» фактически дублирует Задачу 1 «*Изучить влияние кормовой базы*». Поскольку, как правильно констатирует автор во введении «*Таксономический состав кормовой базы может значительно варьировать в экосистемах разной трофности*».
2. При этом ни одна из задач не включает анализ соотношений изотопов, который появляется приятным бонусом в формулировке теоретической значимости работы и затем в результатах.
3. Обзор литературы перегружен сведениями о структуре жирных кислот и эйкозаноидов, их синтезе и функциях, метаболических нарушениях, связанных с дефицитом эссенциальных жирных кислот, что слабо касается темы диссертации. Тогда как чрезвычайно важная информация об используемой соискателем классификации рыб в зависимости от их питания, к сожалению, в литобзоре отсутствует. Это вызывает недоумение при разделении рыб на «*рыбоядных и планкто-бентоядных видов*».
4. Вывод 2 практически дублирует вывод 3. Вывод 6 неудачно сформулирован, т.к. состоит из двух противоречащих друг другу мыслей: *Состав жирных кислот рыб из разных водоемов являлся видоспецифичным, тогда как содержание незаменимых  $\omega 3$  ПНЖК на единицу массы определялось трофическим типом экосистемы.*

5. Возникают вопросы и непонимание, когда автор использует в работе необычные термины и понятия. Такая импровизация в терминологии недопустима. Есть проблема с классификацией пищевых источников. Так в таблице 1.1 приведен список организмов и жирные кислоты, которые служат их биомаркерами для изучения вопросов трофологии, что вполне соответствует классическим представлениям. Вопреки этому, соискатель без объяснений оперирует таким понятием как *литорально-бентосные источники*.
6. Еще большее недоумение вызывает понятие *детритные литоральные трофические цепи* или *эвтрофные трофические сети* вопреки общепринятым пастбищным и детритным пищевым цепям.
7. Исходя из того, что трофические маркеры – это отдельные жирные кислоты, а не целый состав, то фраза *жирнокислотные профили служат важным трофическим маркером при анализе диеты водных консументов* не корректна
8. Ошибочно мнение, что *Синтез ненасыщенных длинноцепочечных ЖК происходит ... в клеточных микросомах с. 14.*, поскольку микросомы – субклеточная фракция, образующаяся из фрагментов эндоплазматической сети при дифференциальном центрифугировании клеточных гомогенатов.
9. Вывод автора: *Таким образом, водные экосистемы являются основным источником ПНЖК для человека* не точен, поскольку водные экосистемы более разнообразны, и не все основаны на водорослях как первичных продуцентах.

Имеются крайне неудачные или не совсем понятные выражения

1. *На состав ЖК в биомассе рыб может влиять большое количество как экологических, так и филогенетических и онтогенетических факторов (с. 6).* Что автор понимает под филогенетическими и онтогенетическими факторами? Учитывая, что филогенетика – это область систематики, которая занимается выявлением эволюционных взаимоотношений видов, а онтогенез – индивидуальное развитие организма от оплодотворения до конца жизни. Возможно, речь должна идти о связи состава жирных кислот с систематическим положением вида. Ошибочно понимание онтогенеза, поскольку автор относит к «онтогенетическим характеристикам» *возраст, размер и пол рыб (с. 40).*
2. Необходимо разъяснение относительно «*соматических и генеративных тканей*». Существует понятие «соматические клетки» (от греч. soma — тело), а также «генеративные органы или репродуктивные органы», но не ткани.
3. *Поступившие в ткань жирнокислотные остатки из липопротеинов либо катаболизируются для получения энергии, либо, в случае избытка, хранятся в качестве запасных липидов в форме ТАГ.* Что автор понимает под жирнокислотными остатками? Некоторые фразы и выражения отличаются особой стилистикой и требуют объяснения:

1. Трофический тип водоема интегрирует в себе практически все экологические условия, которые потенциально могут регулировать состав и содержание ЖК в рыбах с.42.
2. Температура воды может влиять на состав и содержание ЖК как напрямую, так и опосредовано. с.38.
3. Таким образом, состав и содержание ЖК в консументах, а также их передача в трофических сетях определяются большим набором факторов. с. 27
4. Выражение более низкие проценты кислот несет сразу две ошибки. Во-первых, низкие проценты – жаргон, во-вторых, высшие карбоновые кислоты принято всегда называть «жирными кислотами».
5. Вероятно, некорректно называть июнь–август вегетационным сезоном (с. 62) по отношению к фитопланктону, поскольку, как указывает сам соискатель: диатомовые водоросли имеют пик продуктивности весной в подледном фитопланктоне (с. 74)
6. Для обозначения жирных кислот используют номенклатурные названия и более краткие цифровые обозначения с. 12. Для названия органических соединений существует номенклатура тривиальная, рациональная и номенклатура IUPAC.
7. Эйкозаноиды ... вызывают расширение кровеносных сосудов и ослабляют агрегацию тромбоцитов, что приводит к снижению артериального давления и тромбообразованию. Хотя по логике ослабление агрегации тромбоцитов должно скорее препятствовать тромбообразованию.
8. ...приводит к положительному терапевтическому эффекту при лечении ряда заболеваний с. 17. Тогда как терапевтический эффект – это и есть лечебный эффект.
9. Водные организмы низших трофических уровней (микроводоросли, бактерии, высшие растения), в зависимости от генетических возможностей, синтезируют широкий спектр ЖК в определенных пропорциях, формируя специфический для данного таксона жирнокислотный состав тканей. Какие же у микроводорослей и бактерии ткани?
10. организмы способны к биоконверсии пищевых ЖК Неудачное выражение, поскольку биоконверсия – процесс превращения веществ с участием живых организмов.
11. Вместо пищевые ЖК лучше использовать ЖК, поступающие из пищи
12. Крайне неудачные выражения: биохимическое качество пищевых ресурсов или биохимическое качество кормовой базы рыб, диетологические организации, диетологически ценные жирные кислоты, таксон-специфический синтез ЖК у микроводорослей и бактерии, планктонные рыбы, хроматографические площади пиков.
13. Станным образом автор игнорирует использование нижнего или верхнего индексов при обозначении фосфолипазы (PLA<sub>2</sub>) и изотопов азота N<sup>15</sup> и углерода C<sup>13</sup>.

14. Предпочтение автора повсеместно использовать довольно условное название эйкозаноидов *эндогормоны*, приводит её к ошибочному определению эйкозаноидов как *гормонов*.

15. Немало в тексте орфографических и синтаксических ошибок, возникают трудности с пунктуацией, а также с логической связью между предложениями.

16. Неожиданно после выводов следует Список сокращений, который более уместен перед их использованием.

**Заключение.** Диссертационная работа А.Е. Рудченко «Роль трофических факторов в формировании жирнокислотного состава рыб, обитающих в водоемах Красноярского края», представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология (биологические науки), представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой отражены результаты собственных исследований, имеющих важное научное и практическое значение. Основные результаты опубликованы в реферируемых отечественных и международных журналах и представлены на российских и международных конференциях. Диссертация соответствует критериям п. 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор А.Е. Рудченко, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология (биологические науки).

22 января 2019г.

Наталья Владимировна Жукова  
доктор биологических наук  
Ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Национального научного центра биологии моря им. А.В. Жирмунского  
Дальневосточного отделения  
Российской академии наук,



690041, г. Владивосток  
ул. Пальчевского, д. 17  
Тел.: (423)2310937  
e-mail: nzhukova35@list.ru

