

которых наиболее перспективны комбинированные, в частности, сочетающие изотопный метод и метод маркерных жирных кислот.

Представленная к защите диссертационная работа посвящена именно этим вопросам, что однозначно свидетельствует об актуальности исследования, результаты которого способны внести существенный вклад в развитие гидробиологии.

Диссертация изложена на 350 страницах, включает введение, 6 глав, заключение, выводы, список используемой литературы (716 источников, из которых 665 на английском языке!), список сокращений, проиллюстрирована 36 рисунками, данные представлены в 43 таблицах.

В **вводной** части автором убедительно доказана актуальность исследования, сформулирована цель работы, поставлены его задачи, вынесены пять основных и весьма значимых защищаемых положений, показана бесспорная научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, представлены сведения об апробации работы и публикации ее основных положений.

На современном этапе наши познания о ПНЖК и методах их изучения весьма поверхностны и несовершенны. Это определяет высокую ценность **главы 1** диссертации Олеси Николаевны, где дан прекрасный литературный обзор о жирных кислотах организмов континентальных вод. Не менее важное значение имеют сведения о роли ПНЖК для здоровья человека. Безусловно, публикация материалов, представленных в главе 1, в виде обзорной статьи – будет очень востребованной и полезной как для самого широкого спектра ученых и преподавателей.

В **главе 2** представлены район работ, материалы и методы исследований, которые проведены с 2004 по 2018 гг. Автором изучены биохимические параметры 13 видов планктонных ветвистоусых и 12 видов веслоногих ракообразных, а также сестона из мест их обитания, 68 видов донных беспозвоночных (Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera, Plecoptera, Odonata, Megaloptera, Coleoptera, Gammaridae, Mollusca, Hirudinea, Oligochaeta,

Turbellaria и Bryozoa), обитающих в 43 водных объектах 6 стран. Из позвоночных животных анализировались нерка, густера, головастики трех видов земноводных, содержимое их кишечника и основных источников пищи, серая цапля, консервы тихоокеанской сайры, балтийских шпротов и тихоокеанской сельди, а также печень сельскохозяйственных животных. Кроме того, для определения ЖК и ИАОВ водорослей и ракообразных автором проведен эксперимент на лабораторной культуре *Daphnia galeata*, которая питалась идентифицированными до вида представителями зеленых и криптофитовых водорослей.

Подробно описаны методы пробоподготовки и проведения анализа жирных кислот, стабильных изотопов углерода и азота, изотопного анализа ЖК, общего содержания углерода и азота, определения влажности.

Кроме того, Олесея Николаевной представлены сведения об обработке проб фито- и зоопланктона, зообентоса, что было необходимо для идентификации видового состава и определения биомассы сообществ. Большая работа выполнена для расчета урожая ПНЖК, потребовавшая определения первичной продукции, продукция зоопланктона, соотношения ПНЖК/С в sestone и зоопланктоне. Также описаны подходы для определения эффективности переноса веществ по трофическим цепям и трофической позиции консументов.

Для анализа первичных материалов использованы современные методы статистической обработки.

Глава 3 знакомит с результатами изучения роли филогенетического и экологических факторов в формировании ЖК состава пресноводных беспозвоночных. В частности, на примере анализа Cladocera и Copepoda, а также sestona из холодных и теплых регионов рассмотрено влияние температуры воды и таксономической принадлежности организмов на ЖК состав планктонных ракообразных. Выявлены статистически значимые различия между крупными таксонами ракообразных, между Cladocera из тепловодных и холодноводных водоемов. Высокое содержание 14:0, 18:4n-3 и

низкое содержание 18:0 в холодноводных условиях справедливо объясняется гомеовискозной адаптацией мембран животных к низким температурам, причем, автором работы обнаружены ее таксон-специфические особенности. Также показано, что высокое содержание 18:1n-7 в sestone и зоопланктоне тепловодных озер связано с биомассой бактерий, которые активно потребляются ракообразными.

Полученные данные также подтвердили, что как по содержанию ЭПК и ДГК, так и соотношению n-3/n-6 пищевая ценность веслоногих ракообразных для рыб значительно выше, чем ветвистоусых. Одновременно это позволило сделать важнейшее заключение о последствиях потепления климата, в результате которого можно прогнозировать увеличение соотношения ветвистоусых и веслоногих ракообразных и, следовательно, снижение ценности зоопланктона как кормового объекта рыб.

Помимо анализа содержания ЖК у планктонных беспозвоночных, проанализирована зависимость ЖК состава донных беспозвоночных от их таксономической принадлежности. Представлены важнейшие доказательства того, что для бентосных животных характерна селективность питания. Определены кислоты, которые имеют все перспективы для использования в качестве маркеров ряда таксонов, что открывает новые возможности трофологических изысканий.

Данные об абсолютных величинах ЖК позволили выявить наиболее богатые по суммарному содержанию ЭПК и ДГК, а также соотношению ПНЖК семейств n-3 и n-6 таксоны (Ephemeroptera, Trichoptera, Gammaridae и Planariidae). Полученные данные послужили основанием для формулировки важного заключения о последствиях инвазий чужеродных видов бентосных беспозвоночных, среди которых большинство – моллюски и ракообразные, вытесняющие личинок насекомых аборигенных видов. Это приводит к снижению качества кормовой базы рыб.

Исследования влияния основных экологических факторов на ЖК состав водных беспозвоночных были продолжены на примере изучения *Gammarus*

lacustris, обитающих в условиях разных температур и минерализации воды, а также разного пресса хищников. Выявлено, что различия ЖК популяций гаммарусов определялись различиями в питании, в частности, разными таксонами водорослей и цианобактерий, зоопланктоном, наземными беспозвоночными. Показано, что абсолютное содержание ЭПК и ДГК было выше в минерализованных озерах и в безрыбных водоемах. Весьма важна попытка автора объяснить механизм, обеспечивающий высокое содержание ЭПК и ДГК в гаммарусах безрыбных озер. Процентное содержание основных ЖК в популяциях, обитающих в безрыбных водоемах, характеризовалось высокими различиями, а в присутствии рыб – сходством. Среди возможных причин автором справедливо указывается характер питания беспозвоночных, которые в безрыбных озерах имеют возможность селективного потребления пищи в более широком диапазоне биотопов, а в условиях пресса рыб они существенно ограничены в передвижении и поиске пищи.

Глава 4 посвящена описанию и анализу спектров питания беспозвоночных и позвоночных животных с помощью ЖК маркеров. В результате исследований выявлены различия ЖК состава двух видов дрейссенид (*Dreissena polymorpha* и *D. bugensis*), обнаружены различия между представителями дрейссенид и унионид, что определялось спектрами питания моллюсков, приведена одна из ранее не обозначенных причин конкурентного преимущества *D. bugensis*.

Очень ценные результаты получены при исследованиях рациона трех популяций нерки с использованием ЖК маркеров. Это значительно обогащает методы изучения питания рыб, желудочно-кишечные тракты которых зачастую оказываются пустыми.

Исследования автора не были ограничены только представителями водных животных, были изучены и земноводные, в частности, спектры питания головастиков. Рационы исследованных головастиков *Lithobates clamitans* из разных водных объектов показали, что внутривидовые различия в спектрах питания определяются доступностью пищи и их ценностью. Кроме того,

сделано важнейшее заключение о роли пищи животного происхождения в рационе головастиков.

В ходе проведения экспериментальных и полевых исследований удачно апробирован комбинированный метод. В ходе проведения эксперимента показано, что консументы характеризуются более легким изотопным составом, чем пища, которую они потребляют. Это позволило критично взглянуть на принятые взгляды об идентичности изотопных соотношений незаменимых ЖК в пище и потребителях. В ходе полевых исследований бентосной трофической цепи р. Енисей также для всех изученных ЖК показана тенденция снижения доли тяжелого изотопа углерода с увеличением трофического уровня организма.

В главе 5 представлены результаты изучения эффективности переноса веществ разной физиологической ценности по трофическим цепям водных экосистем. Расчеты эффективности переноса общего органического углерода, физиологически ценных и незаменимых C18-C22 n-3, C16 между фито- и зоопланктоном, данные об аккумуляции ЭПК и ДГК в трофических парах перифитон – зообентос и рыба – птица позволили обнаружить более высокую эффективность переноса физиологически ценных ПНЖК, чем общего углерода. Полученные результаты раскрывают механизм получения представителями верхних звеньев трофических цепей необходимого количества ПНЖК.

В главе 6 содержится ценная информация об итогах изучения основных пищевых источников n-3 ПНЖК для человека и поиска альтернативных источников. Проанализировано абсолютное содержание ЭПК и ДГК в консервах трех видов рыб – тихоокеанской сайры и сельди, балтийских шпротах. Выявлено, что максимальным количеством ПНЖК отличаются консервы сайры, хотя убедительно показано, что все исследованные виды консервов характеризуются высокими величинами кислот, а суточная доза ЭПК+ДГК содержится в 26–76 г сайры, в 55 г сельди, в 70 г шпротов.

Автором также проведено исследование ЖК состава и абсолютного содержания ЭПК и ДГК в сырой и кулинарно-обработанной печени коров,

свиней и кур, которые считаются альтернативными рыбе источниками ПНЖК. Выявлено, что абсолютное содержание ЭПК и ДГК в печени исследованных животных сопоставимо с величинами в ряде видов рыб. Однако печень изученных животных не может быть альтернативой рыбе как по абсолютным величинам, так и по соотношению $n-6/n-3$.

В заключении изящно представлены ключевые результаты работы, на основе которых сделано 10 выводов, которые полностью отражают наиболее значимые положения.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию рукописи диссертационной работы.

Каких-либо принципиальных замечаний к выполненному исследованию нет, как не обнаружено каких-либо серьезных ошибок в оформлении, представлении данных и пр. Напротив, вся работа выстроена в строгой логике, написана прекрасным языком. Благодаря этому, а также новизне и актуальности, рукопись читается на одном дыхании. Содержание работы представляет интерес не только для гидробиологов, но также для экологов, медиков, исследователей сельского хозяйства, да и каждого человека, заботящегося о собственном здоровье. В связи с этим хочется высказать пожелание публикации работы в виде монографии, которая, безусловно, будет востребована научным сообществом и откроет новые перспективы сотрудничества.

Работа Олеси Николаевны Кормилец – продуманное, тонкое и законченное исследование, выполненное на высоком методическом и научном уровне. Актуальность темы исследований, новизна научных результатов и выводов, значение для науки и практики, перспективность – очевидны и не могут вызывать даже малейших сомнений. Необходимо отметить, что полученные результаты исследования апробированы на весьма значимых конференциях, основные заключения работы опубликованы в 46 высокорейтинговых журналах, входящих в международные базы данных и в список ВАК.

Представленное к защите диссертационное исследование полностью соответствует всем 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 доктора наук, а ее автор – **Олеся Николаевна Кормилец**, вне всяких сомнений, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности **03.02.10 – гидробиология (биологические науки)**.

Отзыв рассмотрен на собрании лаборатории экологии водных беспозвоночных Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук 03 сентября 2019 г., протокол № 5.

Главный научный сотрудник лаборатории экологии водных беспозвоночных Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН доктор биологических наук,



Лазарева Валентина Ивановна

152742, п. Борок, Ярославской обл., Некоузского района
ФГБУН ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина РАН,
тел. (рабочий) 4854724824
E-mail: laz@ibiw.ru

03 сентября 2019 г.

