



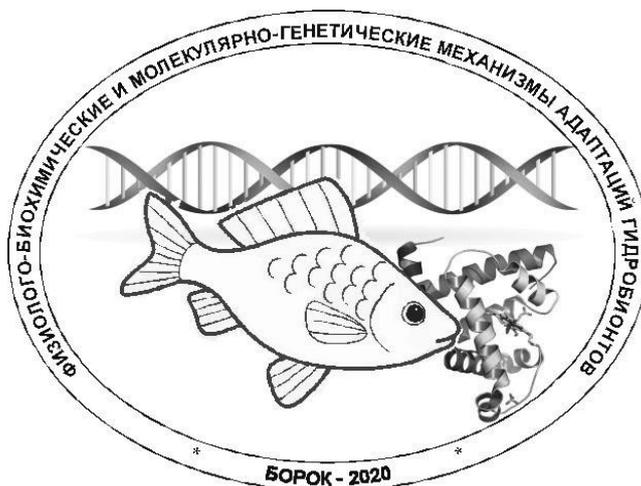
**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН**



**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ  
И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ  
МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИЙ ГИДРОБИОНТОВ**

Тезисы докладов II Всероссийской конференции  
с международным участием  
24–28 октября 2020 г.

**БОРОК 2020**

УДК 574.52:574.625(063)  
ББК 28.082.7л6  
Ф50

Ф50 **Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов:** тезисы докладов Второй Всероссийской конференции с международным участием [Борок, 24–28 октября 2020 г.] / Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. – Ярославль : Филигрань, 2020. – 67 с.

ISBN 978-5-6045263-1-6

В сборнике представлены тезисы докладов Второй Всероссийской конференции «Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов». Рассмотрен широкий круг теоретических и практических вопросов экологической физиологии, биохимии, протеомики и метаболомики водных организмов, проблемы адаптаций в онтогенезе и филогенезе. В материалах обсуждаются разные аспекты энергетического обмена, термоадаптаций, осмотического гомеостаза и пищеварения, генетики гидробионтов и устойчивости водных сообществ к действию биотических и абиотических, в том числе, токсических, факторов; а также вопросы биотехнологий. Сборник предназначен для широкого круга биологов, занимающихся вопросами адаптаций водных организмов.

*Ответственность за достоверность представленных к публикации материалов несут авторы.*

Компьютерная верстка - Е. А. Заботкина

УДК 574.52:574.625(063)  
ББК 28.082.7л6

ISBN 978-5-6045263-1-6

© Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, макет, оформление, верстка, 2020

© Коллектив авторов, текст, 2020.

## НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОТЕОМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ

А. М. Андреева

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, aam@ibiw.ru*

Протеомика (П.) – наука о белках. Подобно геномике, транскриптомике и метаболомике, она является разделом молекулярной биологии, тесно связанным с биоинформатикой. В последние годы использование этих дисциплин в изучении природных экосистем значительно возросло (Schneider, Riedel, 2010; Diz et al., 2012; Rhee et al., 2014; Martyniuk, Simmons, 2016; Revel et al., 2017; Liang et al., 2018; Volkova et al., 2018). П. выделилась из биохимии как специализированный раздел с особым методическим аппаратом, включающим электрофорез, хроматографию и масс-спектрометрию MALDI. Ее целью является инвентаризация и идентификация белков, закодированных в геноме организма, ткани, клетки; белок-белковые взаимодействия, посттрансляционные модификации и др. на основе секвенированных геномов.

Стимулом для секвенирования геномов и идентификации белков водных пойкилотермных явилась реализация проектов “Геном человека” и “Протеом человека” (Lander et al., 2001; Archakov et al., 2007, 2019; Ponomarenko et al., 2016). Благодаря им за последние два десятилетия была создана и постоянно пополняется база данных по идентифицированным белкам и их протеолитическим фрагментам у водных организмов, давшая стимул к появлению экологической протеомики живых объектов экосистем. Ее задачи сфокусированы не только на вопросах идентификации белков, но и на вопросах их взаимодействия в ходе развития и адаптаций к среде и проблемах эволюции.

Первоначально темпы развития П. были относительно невысоки в сравнении с геномикой. Причина заключается в более сложной, по сравнению с геномикой, организации протеома, его динамичности и нестабильностью во времени. По этим причинам извлечение полезной информации при изучении экосистем на протеомном уровне пока оказывается менее эффективным по сравнению с геномным уровнем (Frenkel-Morgenstern et al., 2010; Lemos et al., 2010; Vandenkoornhuysen et al., 2010; Diz et al., 2012; Baer, Millar, 2016). Однако ситуация быстро меняется. В последние годы имеет место тенденция к постепенному выравниванию скоростей секвенирования ДНК и аннотирования последовательностей (Primmer et al., 2013; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>), что позволяет предположить рост эффективности извлечения полезной экологической информации на уровне протеома экосистемы в самое ближайшее время.

П. может быть как самостоятельным инструментом, так и дополнительным звеном в комплексном анализе экосистем и мощным стимулом для развития старых и рождения новых гипотез и теорий. Так, использование протеомных технологий в сравнительной экологической и эволюционной физиологии и биохимии водных организмов явилось стимулом: (1) для развития классических фундаментальных концепций – гипотезы капиллярного обмена (Старлинг, 1896), концепции о консервативном составе белков плазмы позвоночных (Tiselius, 1937), современной концепции критической солёности (Хлебович, 1974), и (2) для рождения новых гипотез – об альтернативных “безальбуминовых” механизмах стабилизации капиллярного обмена у костистых рыб и неучтенных факторах гипотезы Старлинга (Андреева, 2020; Andreeva, 2019), о разных стратегиях организации протеома плазмы рыб по разные стороны критической солёности (Andreeva, 2019), о становлении протеома плазмы в эволюции рыб (Андреева, 2010) и др.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-04-00120а).*

## КАПИЛЛЯРНЫЙ ОБМЕН БЕЛКОВ У РЫБ НА ПРИМЕРЕ TELEOSTEI. НЕУЧТЕННЫЕ ФАКТОРЫ

А. М. Андреева

Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанова РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, Россия, aam@ibiw.ru

Сформулированные Старлингом в конце XIX столетия положения о движении внеклеточной жидкости через капиллярную стенку у млекопитающих легли в основу гипотезы капиллярного обмена (КО) (Starling, 1896). Согласно гипотезе, внутри организма вода проникает во все компартменты и клетки, а распределение солей между внутри- и внесосудистой жидкостями регулируется белками плазмы в соответствии с эффектом Гиббса-Доннана (Bianchetti et al., 2009; Nguyen et al., 2014; Jacob et al., 2016). Баланс внеклеточной жидкости в организме гипотеза объясняет сбалансированностью гидростатического и онкотического давлений плазмы и интерстициальной жидкости (силы Старлинга) и ключевой ролью белков плазмы в обеспечении капиллярного водного трансфера. Модель исходит из внутрисосудистой локализации белков плазмы и доминирующего (до 80%) вклада альбумина в ее онкотическое давление.

У рыб из-за отсутствия антигравитационных приспособлений полное признание сил Старлинга считается некорректным. Из-за отсутствия необходимости в высоком давлении крови их капилляры не обладают выраженной барьерной функцией в отношении белка. Вследствие этого в интерстиции рыб концентрация белка приближается к таковой в плазме (Andreeva et al., 2019). Лимфатическая система рыб лишена настоящих клапанов, формирующих направленный отток лимфы (Koltowska et al., 2013), поэтому белок в интерстиции образует скопления (Андреева, 2020). В отличие от Mammalia, плазму рыб характеризует обилие олигомерных белков и отсутствие альбумина в группе высших *Teleostei* (Андреева, 2019).

“Безальбуминовая” модель КФ, исходя из ключевой роли белков плазмы в водном трансфере, учитывает перечисленные особенности рыб. Важную роль в поддержании изотонии внеклеточных жидкостей она отводит олигомерным белкам, которые под влиянием факторов внешней и внутренней среды – температуры, солености, метаболома – распадаются (диссоциация) и сливаются в более крупные структуры (ассоциация), способствуя “выравниванию” осмоляльностей жидкостей по обе стороны стенки капилляра и поддержанию их изотонии в широком диапазоне условий среды (Andreeva, 2010; Andreeva et al., 2017, 2019). В качестве осмотически активных олигомерных комплексов в докладе рассмотрены липопротеины высокой плотности (Андреева, 2019). Обсуждается существование анцестрального и консервативного способа стабилизации обменных процессов у рыб на основе ЛПВП без участия альбумина. В ветви древа позвоночных, приведшей к Mammalia, могло произойти разделение функций между ЛПВП и альбумином: первые взяли на себя липидный транспорт, вторые – осморегуляцию. В ветви высших *Teleostei*, потерявших альбумин, механизмы липидного и водного обмена могли совершенствоваться за счет расширения функционального диапазона ЛПВП. Учитывая доминирующую роль липидов в энергетике рыб, можно предположить, что эволюция липидного обмена и других функций на основе ЛПВП происходила параллельно, включая участие ЛПВП в стабилизации КФ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-04-00120а).*

# ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ПОДРАЗДЕЛЁННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ *CHIRONOMUS PLUMOSUS* (DIPTERA)

**В. В. Большаков**

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, victorb@ibiw.ru*

Личинок хирономид можно встретить практически в любом водоёме. Они обладают широкими возможностями адаптации на разных уровнях организации – генетическом и биохимическом. В формировании цитогенетической структуры популяций хирономид рода *Chironomus* важную роль играет не географическое расположение водоёма, а условия в нём. Это подтверждается многочисленными наблюдениями, когда одна из популяций, находящихся в непосредственной близости друг от друга, может иметь больше сходства с другой, удалённой на тысячи километров, популяцией. Важную роль в адаптации личинок хирономид играет гемоглобин, основной белок гемолимфы. На примере *Chironomus plumosus* (L, 1758) нами уже было показано высокое разнообразие спектров гемоглобинов и субъединиц, участвующих в формировании как мономерных, так и высокомолекулярных форм. В настоящее время нами накоплены уникальные данные, позволяющие оценить разнообразие хромосомных наборов и спектров гемоглобинов, как из разных, так и из одного водоёма – Рыбинского водохранилища. В рамках стандартного рейса нами были собраны личинки *Chironomus plumosus*. В период 2013–2020 гг. был проанализирован 1251 кариологический препарат, и более 700 спектров гемоглобинов. В результате анализа полученных данных было показано, что в акватории Рыбинского водохранилища существует несколько субпопуляций. При этом в период наших наблюдений идёт постепенное изменение цитогенетической структуры популяции, что может косвенно свидетельствовать об изменении условий обитания в водохранилище, в том числе и вследствие потепления климата.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-34-00124 мол а), за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № АААА-А19-119102890013-3.*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВ ЧАСТЕЙ ТЕЛА ПАРАЗИТОВ РЫБ *TRIAENOPHORUS NODULOSUS* И *TRIAENOPHORUS CRASSUS*

Е. В. Борвинская<sup>1</sup>, А. А. Кочнева<sup>1</sup>, Д. С. Бедулина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук",  
185910, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д.11;

<sup>2</sup> - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 3

Род *Triaenophorus* принадлежит к отряду *Bothriocephalidea*, в состав которого входят паразиты со сложным жизненным циклом, экология которых тесно связана с водой. Первая личиночная стадия – корацидий – является свободноживущей, личинки второй и третьей стадии являются тканевыми паразитами планктонных ракообразных (процеркоид) и сиговых (плероцеркоиды *T. crassus*) и окуневых, тресковых и др. (плероцеркоиды *T. nodulosus*). Взрослые черви обитают в кишечнике щуки *Esox lucius*. В исследовании были оценены такие аспекты изменчивости состава белков представителей рода *Triaenophorus* как видовая специфика, пространственное распределение белков, стадия жизненного цикла. Для оценки пространственного распределения белков паразитов, методом двумерного DIGE-электрофореза были разделены белковые экстракты головки (сколекса) и незрелых проглоттид плероцеркоидов и взрослых *T. nodulosus* и *T. crassus*, а также зрелых проглоттид с яйцами. Белки с различающимся уровнем экспрессии были проанализированы методом ВЖХ-МС/МС, что позволило идентифицировать 11 белков. Многомерный анализ интенсивности окраски белковых пятен на DIGE-электрофореграммах показал, что состав белков *Triaenophorus sp.* главным образом зависит от части тела червя, а затем от его вида. Экспрессия белков, связанных с цитоскелетом и мускулатурой, таких как актин, регуляторная легкая цепь миозина и тропомиозин 2, снижалась вдоль стробилы червей по мере удаления от сколекса, вероятно, из-за атрофии тегумента в созревающих проглоттидах. Также повышенное содержание двигательных белков в головке червя может объясняться развитой мускулатурой вокруг органов прикрепления. Белок, индуцированный трансформирующим ростовым фактором  $\beta$  (TGFB1), пропионил-КоА-карбоксилаза, глутаматдегидрогеназа и изоформа тубулина  $\beta$  более интенсивно экспрессировались в половозрелых проглоттидах, и, предположительно, участвуют в гаметогенезе и созревании яиц. Белки TGFB1 задействованы в обеспечении межклеточных контактов, и их синтез может быть молекулярной основой адгезии яйца и выростов маточного эпителия червя - плацентоподобных структур, характерных для цестод. Межвидовые различия между *T. nodulosus* и *T. crassus* были обнаружены по экспрессии белков тяжелой цепи миозина и парамиозина, основного белка органеллы рибонуклеопротеина vault и неохарактеризованного белка DN24645\_TRINITY. Белок DN24645\_TRINITY был обнаружен исключительно в сколексах *T. nodulosus* и при этом в очень больших количествах. Этот белок с уникальной структурой и неизвестной функцией имел в составе сигнальные последовательности для секреции во внешнюю среду, и, вероятно, может быть необходим для адаптации плероцеркоида *T. nodulosus* к паразитированию в печени рыб. Сравнение белкового состава плероцеркоидов и взрослых *Triaenophorus sp.* в целом указывает на сходство биохимической организации червей во втором промежуточном и окончательном хозяине.

Исследование было поддержано грантом РФФИ № 17-04-01700.

## **БИОТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САЛАТА В АКВАКУЛЬТУРЕ**

**С. Д. Борисова, Н. И. Ситдикова**

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51, Svetlana-zag@bk.ru*

Перспективным направлением аквакультуры является создание систем, включающих в себя гидропонное оборудование, позволяющее выращивать различные виды растений. Избыток в воде рыбоводной системы растворенных органических, азотсодержащих и других соединений, доступных для растений, позволяет получать достаточно высокие урожаи различных сельскохозяйственных культур.

К преимуществам аквапонических систем относятся: устранение влияния почвенных патогенных микроорганизмов, создание контролируемой среды, увеличение урожайности и водосбережение.

Это означает, что если растению требуется большое количество питательных веществ, оно будет лучше подходить для более крупной системы с большим количеством рыбных отходов (что приводит к большей концентрации питательных веществ). Меньшая система идеально подходит для выращивания обычной зелени и трав, в то время как на более крупной установке замкнутого водоснабжения можно выращивать помидоры, перец, морковь и целый ряд фруктов.

Для экспериментального выращивания листового салата в малой установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета мы использовали два сорта салата «Махагон» и «Лолло». Аквапонический эксперимент по выращиванию салата проводился в биофилт্রে малой УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура». Растения круглосуточно находились под фитолампой. Контрольные замеры и визуальный осмотр проводился каждые 5 дней в течение месяца. Измерялись такие показатели, как длина листа, длина корня, визуально анализировалось разветвление корня и считалось количество листьев. В качестве контроля использовались литературные данные.

На основе экспериментальных данных, скорость роста листовой пластины салата посаженного в пластиковую емкость описывается следующим уравнением:  $y=6x^2-5.4x+9.6$ ,  $R^2=0.994$ . Скорость роста листовой пластины салата посаженного на сетчатое полотно –  $y=3.571x^2-9.228x+17.6$ ,  $R^2=0.994$ .

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при постоянной температуре 20–22°C, круглосуточном освещении и постоянном токе воды оба вида салата «Лолла» и «Махагон» росли одинаково. Более активный рост отмечался у экземпляров салата посаженного в пластиковые емкости с галькой, чем у экземпляров, посаженных на сетчатое полотно. У салата в пластиковых емкостях длина листьев увеличилась с 12 мм до 130 мм, корневая система к концу эксперимента стала более разветвленной, окраска листьев – ярко зеленая. У салата посаженного на сетчатом полотне, длина листьев увеличилась с 12 мм до 60 мм, корневая система – развита хорошо, окраска листьев – желто-зеленая. Можно сделать вывод о том, что корневая система салата листового должна быть погружена в грунт (керамзит или гальку).

Несомненно, инновационной компонентой в биотехнологиях выращивания рыбы в аквакультуре может стать использование аквапонических установок на базе биофилтра с выращиванием ценных растительных культур, особенно в зимний вегетационный период. Анализ литературы показал, что наиболее перспективными видами ценных растительных культур для выращивания в аквапонических системах являются пряные культуры, среди которых базилик и мята – важные биодобавки, являющиеся ценными источниками микроэлементов для обеспечения здоровья людей.

## ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ *CERIODAPHNIA AFFINIS* L. В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ И ХРОНИЧЕСКОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

О. А. Ботяжова, М. А. Романова

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова»,  
150057, Россия, г. Ярославль, проезд Матросова, д. 9, офис 416, botyazh@bio.uniyar.ac.ru

Значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на водные объекты, составляют сточные воды, содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые входят в состав синтетических моющих средств (СМС) всех хозяйственно-бытовых и большинства промышленных сточных вод. Гидробионты очень чувствительны к ухудшению качества вод, как к важному условию их существования.

Целью работы являлось изучение влияния СМС торговых марок «Vanish» и «Миф-автомат» на выживаемость и плодовитость ветвистоусого рачка *Ceriodaphnia affinis* L.

По результатам острого (48 час) биотестирования водных растворов СМС определили летальные концентрации, которые соответственно составили: LC<sub>0</sub> – 1 мг/л и LC<sub>100</sub> – 40 мг/л («Vanish»); LC<sub>0</sub> – 1 мг/л и LC<sub>100</sub> – 100 мг/л («Миф-автомат»). Медианные летальные концентрации (LC<sub>50</sub>), определённые графическим методом с использованием пробит анализа, составили для СМС «Vanish» – 15 мг/л, для СМС «Миф-автомат» – 51 мг/л.

В хроническом опыте (8 сут.) использовали растворы СМС с концентрациями равными 0.1 от LC<sub>50</sub>, т.е. 1.5 мг/л и 5.1 мг/л соответственно для «Vanish» и «Миф-автомат». Через каждые 48 час учитывали летальность взрослых особей и родившейся молоди.

Установили, что СМС «Vanish» оказывает хроническое токсическое действие на выживаемость цериодафний, снижая её до 47%, тогда как СМС «Миф-автомат» не влияет на выживаемость тест-объектов, т.к. на протяжении всего хронического опыта выживаемость рачков составляла 100%.

СМС «Миф-автомат» существенно влияет на репродуктивную функцию рачков, что проявляется в значительной стимуляции плодовитости цериодафний от 3 особей на 2 сут. до 80 особей – к 8 сут. опыта. Такие данные указывают на высокую хроническую токсичность изучаемого вещества, т. к. рост плодовитости составляет более 30% по сравнению с контролем (Флёров, Комов, 1991). Вероятно, что рост плодовитости — механизм адаптации к токсиканту. Реакции организма на стресс проходит через три фазы: угнетение, адаптация и истощение. Эффект стимуляции проявляется на стадии адаптации, когда ответ организма превосходит токсическое поражение (Гершкович, 2012). В опыте с раствором СМС «Vanish» (1.5 мг/л) плодовитость растёт до 4 сут., а затем снижается до 7 особей к 8 сут. эксперимента. Вероятно, снижение плодовитости происходит под воздействием токсических компонентов в составе СМС «Vanish», в частности, смеси анионных и неионогенных ПАВ и кислородного отбеливателя, которые в совместной комбинации поражают мембраны клеток гидробионтов. ПАВ дополнительно усиливают токсичность кислородного отбеливателя (Остроумов, 2001).

Сравнение показателей выживаемости и плодовитости указывает на более высокую токсичность СМС «Vanish», что можно объяснить наличием в его составе фосфанатов, которые могут переходить в фосфаты. Последние связываются с ферментами, создавая условия для более интенсивного проникновения ПАВ через покровы животных и накопления их во внутренних органах, что негативно влияет на процессы жизнедеятельности (Fariha et al., 2010).

## СОДЕРЖАНИЕ ПОЛОВЫХ СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ В КРОВИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS*

Е. В. Ганжа

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,  
119071, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 33, evganzha@gmail.com*

Изучено содержание половых стероидных гормонов в крови сеголеток (3 мес.) и годовиков (14 мес.) радужной форели *Oncorhynchus mykiss*. Материал собран в марте 2013 г. на рыбноводном хозяйстве "Клонг-Кланх" (Вьетнам, провинция Ламдонг), расположенном в горах. Известно, что радужная форель является холодноводным видом, чей естественный ареал приурочен к северным широтам. Исследованные особи были первой и второй генерацией рыб, полученных в климатических условиях Вьетнама (высокая температура воды, низкий уровень растворённого кислорода в воде, продолжительная освещённость). Ранее было выявлено (Павлов и др., 2010; Павлов и др., 2016), что, при выращивании в соответствующих условиях, у форели развиваются аномалии половых желёз, в том числе гермафродитизм и стерильность.

За сутки до отбора крови сеголетков (32 экз.) и годовиков (самок – 16 экз., самцов – 17 экз.) отсаживали в отдельные бассейны и прекращали кормить. Температура воды составляла 15–16.5°C. Кровь прижизненно отбирали шприцом у рыб из хвостовой вены, плазму крови получали стандартным способом и подвергали заморозке. Измеряли длину тела (FL), полную массу тела (M), у годовиков определяли пол. С помощью ELISA с тест-наборами производства DRG (ФРГ) определяли концентрацию тестостерона (Т) и эстрадиола-17β (Е) в крови, рассчитывали показатель Т/Е (Павлов и др., 2016). Гонады сеголетков представлены тонкими прозрачными тяжами массой менее 0.05 г. У годовиков гонады варьировали по размерам, у большей части рыб были ≥ 1 г.

Таблица. Физиолого-биохимические показатели сеголетков и годовиков радужной форели.

Возраст	FL, см	M, г	T, нг/мл	E, пг/мл	T/E
Сеголетки	$9.5 \pm 0.16$	$10.4 \pm 0.53$	$2.24 \pm 0.149$	$96.2 \pm 8.24$	$39 \pm 5.2$
	7.5 – 10.9	5.2 – 16.2	0.43 – 4.10	14.6 – 177.7	3 – 281
Годовики, ♀	$31.6 \pm 0.97$	$423.9 \pm 37.93$	$3.15 \pm 0.331$	$137.0 \pm 12.10$	$32 \pm 4.6$
	25.0 – 39.5	226.5 – 780.0	0.04 – 15.55	4.9–652.9	1–505
Годовики, ♂	$30.4 \pm 0.98$	$383.1 \pm 34.67$	$7.29 \pm 0.559$	$82.3 \pm 5.95$	$162 \pm 16.9$
	21.6 – 37.0	133.0 – 645.0	0.29– 21.80	4.9– 223.3	2 – 1004

Примечание: в числителе среднее значение показателя и его ошибка, в знаменателе min и max показателя.

Наименьшее содержание Т в крови отмечено у сеголеток (табл.). У самок в возрасте 14 мес. концентрация Т практически не меняется ( $p > 0.05$ , здесь и далее по U-критерию Манна-Уитни), а у самцов того же возраста возрастает ( $p < 0.001$ ). Концентрация Е годовиков изменяется не достоверно по сравнению с сеголетками ( $p > 0.05$ ), у самок выше, чем у самцов ( $p < 0.01$ ). Показатель Т/Е отражает переход одного гормона в другой, и указывает на половую принадлежность особей. У самцов он значительно ( $p < 0.001$ ) выше, чем у самок, что согласуется с полученными ранее данными (Павлов и др., 2016). По мере созревания гонад у самцов этот показатель растёт ( $p < 0.001$ ), а у самок несколько снижается ( $p > 0.05$ ). Это связано с модификацией перехода Т в Е, которая у самок и самцов имеет разную направленность.

Коэффициент вариации (CV) значений концентраций исследованных гормонов в крови увеличивается с возрастом рыб – в среднем с 45 у сеголетков до 88 у годовиков. Это обусловлено повышением физиологических различий у рыб в онтогенезе – процессами их роста и полового созревания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований президиума РАН "Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России" и Российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (программа "Эколан 3.2.")*

## НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ НЕЙРОСПЕЦИФИЧНОГО БЕЛКА DPYL-2 НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ У КОСТИСТЫХ РЫБ В РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ ОБУЧЕНИЯ

Д. В. Гарина<sup>1</sup>, А. А. Мехтиев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, darina@ibiw.ru;

<sup>2</sup>Институт физиологии им. академика Абдуллы Караева НАН Азербайджана  
AZ1100, Азербайджан, г. Баку, ул. Шариф-заде, 2, arifmekht@yahoo.com

В 1991 году в коре головного мозга крыс был обнаружен белок, названный авторами «серотонин-модулируемый антиконсолидационный белок» (СМАБ) (Mekhtiev, 2000). Отличительной чертой нового белка была его способность к нарушению формирования долговременной памяти у млекопитающих после его введения в боковой желудочек головного мозга (Guseinov & Mekhtiev, 2013; Mekhtiev et al., 2015). Позднее применение SDS-электрофореза с последующей масс-спектрометрией MALDI-TOF позволило идентифицировать белок в составе СМАБ, ответственный за антиконсолидационный эффект, как дигидропиримидиназа-подобный белок-2 (DPYL-2, CRMP2) (Гарина и др., 2018). Это внутриклеточный нейроспецифичный белок массой 62 кДа, участвующий в развитии и поляризации нейронов, регуляции роста аксонов и клеточной миграции, медиатор Sema3A сигнального пути в клетке (Nakamura et al., 2000; Schmidt & Strittmatter, 2007).

Для исследования эффектов DPYL-2 на формирование долговременной памяти у костистых рыб нами были использованы различные экспериментальные модели их обучения, как простые (выработка условного рефлекса активного избегания), так и более сложные (исследование формирования пространственной памяти в лабиринте с пищевым подкреплением). Кроме того, были исследованы некоторые другие эффекты белка: влияние на пищевую мотивацию рыб, на асимметрию поведенческих реакций, на выбор температур в термоградиентных условиях. Объектами исследований служили близкородственные виды карповых: карась серебряный *Carassius auratus* и карп *Cyprinus carpio*.

Установлено, что введение белка в 4-й желудочек мозга (0.3 мкг/г массы тела) приводит к нарушению формирования условного рефлекса активного избегания у молоди карпов: латентное время воспроизведения навыка у опытных особей достоверно превышало таковое у контрольных более чем в два раза, а количество особей, выполнивших задание, в опытной группе было недостоверно ниже, чем в контрольной (Гарина, Мехтиев, 2014). Методом твердофазного непрямого иммуноферментного анализа (ТНИФА) показано, что содержание СМАБ в мозге обученных серебряных карасей на 88% ниже такового у особей из группы активного контроля (Гарина, Мехтиев, 2012). СМАБ также оказывал негативное влияние на формирование пространственной памяти у серебряного карася в Т-образном лабиринте с пищевым подкреплением: в опытной группе количество особей, обучившихся находить корм, было достоверно ниже (38%), чем в группах активного контроля (70%) и у интактных особей (63%) (Гарина и др., 2018). При этом инъекция СМАБ не влияла на выбор рыбами направления в лабиринте (Garina et al., 2016) и пищевую мотивацию (Гарина и др., в печати).

Таким образом, в серии исследований, включающих различные экспериментальные подходы, показано, что, как и у млекопитающих, DPYL-2 оказывает выраженное негативное влияние на формирование долговременной памяти у костистых рыб. Нами выдвинута гипотеза о том, что антиконсолидационный эффект СМАБ обусловлен эффектом DPYL-2, блокирующим прорастание аксонов и образование новых синапсов.

Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № АААА-А19-119102890013-3.

## ВЛИЯНИЕ ГЛИФОСАТСОДЕРЖАЩИХ ГЕРБИЦИДОВ НА ПИЩЕВАРЕНИЕ У РЫБ

И. Л. Голованова<sup>1</sup>, А. И. Аминов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, [golovanova@ibiw.ru](mailto:golovanova@ibiw.ru);

<sup>2</sup> Ярославский государственный медицинский университет,  
150000, Россия, г. Ярославль, ул. Революционная, 5

Применение глифосатсодержащих гербицидов во всем мире неуклонно растет, создавая повышенную вероятность воздействия на водные организмы. Способность глифосата быстро разлагаться часто является аргументом против его потенциальных негативных эффектов. Однако токсическое действие на гидробионтов может проявиться еще до его полного распада, при этом поверхностно-активные вещества, входящие в состав коммерческих смесей, могут быть более токсичны, чем сам активный ингредиент. Многочисленные исследования показали, что компоненты глифосатсодержащих гербицидов, а также продукты разложения глифосата даже в низких концентрациях могут влиять на морфологические и физиолого-биохимические показатели рыб. Реакция различных систем организма неспецифична и зависит от вида и возраста рыб, типа и концентрации гербицида, продолжительности воздействия, а также действия ряда экологических факторов.

Раундап – один из наиболее широко применяемых глифосатсодержащих гербицидов. В последние годы количество работ, свидетельствующих о возможности его действия на различные системы организма рыб, в том числе и на пищеварительную, неуклонно растет. В экспериментах *in vitro* показано, что Раундап (360 г/л глифосата) в концентрациях 0.1–50 мкг/л по глифосату наряду с торможением может оказывать и стимулирующий эффект на активность гликозидаз (мальтазы, сахаразы, амилолитической активности) в кишечнике ряда видов пресноводных рыб (Голованова, Аминов, 2017). При этом чувствительность гликозидаз к гербициду выше у молоди, чем у взрослых рыб, а также у рыб бентофагов – плотвы *Rutilus rutilus* (L.) и язя *Leuciscus idus* (L.), чем у типичных ихтиофагов щуки *Esox lucius* L., судака *Sander lucioperca* (L.) и сома *Silurus glanis* L. Установлено, что как сверхнизкие концентрации Раундапа ( $1 \cdot 10^{-13}$ – $1 \cdot 10^{-5}$  мкг/л), так и концентрации, превышающие их на 2–17 порядков, могут вызывать равный по силе эффект на активность гликозидаз в кишечнике молоди рыб (Голованова и др., 2016). Активность пептидаз слизистой оболочки кишечника карпа *Cyprinus carpio* (L.), густеры *Blicca bjoerkna* (L.), плотвы, судака и щуки в присутствии Раундапа концентрацией 0.01–100 мкг/л по глифосату снижается с ростом концентрации гербицида (Кузьмина и др., 2017). Наименее чувствительны к действию Раундапа пептидазы карпа и щуки. Изменение активности пищеварительных ферментов у рыб выявлено и при действии Раундапа в условиях *in vivo*. Повышение активности амилазы, трипсина и химотрипсина в кишечнике, а также активности кислых пептидаз в желудке молоди лепорины *Leporinus obtusidens* (Valenciennes) показано после 90-суточной экспозиции в Раундапе (48% глифосата) концентрацией 1 и 5 мг/л (Salbego et al., 2014). При этом потребление пищи не менялось, однако рост рыб снижался. Понижение амилолитической активности в кишечнике молоди ротана-головешки *Perccottus glenii* (Dybowski) на 27% отмечено после 30-суточного пребывания в растворе Раундапа (360 г/л глифосата) с более низкой концентрацией 2 мкг/л (Голованова и др., 2013). При этом активность мальтазы не изменялась, однако увеличение константы Михаэлиса ( $K_m$ ) гидролиза мальтозы свидетельствует о снижении фермент-субстратного сродства при хроническом действии гербицида. Некоторые физические (температура, pH, магнитное поле) и химические (гербициды) факторы могут менять чувствительность пищеварительных гликозидаз рыб к *in vitro* действию Раундапа, изменяя активность, температурные и кинетические характеристики ферментов и скорость ассимиляции углеводов (Голованова, Аминов, 2013, 2016; Голованова и др., 2013; Филиппов и др., 2019).

Работа выполнена в рамках государственного задания (темы №№ АААА-А18-118012690102-9, АААА-А18-118012690222-4).

## МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ЛАСТОНОГИХ В ПЕРВЫЕ МЕСЯЦЫ ПОСТНАТАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ

А. А. Ерохина, Н. Н. Кавцевич, Т. В. Минзюк

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук,  
183010, Россия, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, irina.erohina58@mail.ru

Представлены результаты исследования физиолого-биохимических параметров крови представителей ластоногих - серого тюленя (*Halichoerus grypus* Fabricius, 1791), гренландского тюленя (*Pagophilus groenlandica* Erxleben, 1777), тюленя-хохлача (*Cystophora cristata* Erxleben, 1777) в раннем постнатальном периоде развития. Животных обследовали в первые сутки после рождения, в период молочного вскармливания и его завершения, в период ювенильной линьки и естественного голодания перед сходом в воду и началом самостоятельного питания.

Состав крови новорожденных животных отражает адаптации, связанные с рождением и прекращением притока питательных веществ с кровью матери. В это время отмечается крайне низкая концентрация глюкозы, к концу молочного вскармливания она снижается более, чем в 3 раза. К концу периода молочного вскармливания в крови уменьшается концентрация белка за счет бета- и гамма-глобулинов. Очевидно, синтез собственных иммуноглобулинов, составляющих основную часть фракции гамма-глобулинов, у животных этого возраста еще не происходит, а начинается с переходом к самостоятельному питанию, так как антигены пищи стимулируют процесс. Кроме этого, повышается уровень мочевины, что свидетельствует об усилении катаболизма белков. Наиболее существенные изменения в составе крови тюленей отмечаются с началом самостоятельного питания. Концентрация глюкозы достигает нормального для взрослых животных уровня. Повышается содержание белка за счет альбумина, бета- и гамма-глобулинов, причем содержание последних такое же, как и в начале питания материнским молоком, когда эта фракция формируется за счет материнских иммуноглобулинов. Снижается уровень лактата, изменяется активность всех изученных ферментов.

Таким образом, в раннем периоде постнатального развития изученных видов ластоногих происходят метаболические перестройки, присущие млекопитающим в целом, но с особенностями выраженности отдельных реакций: 1) активность гамма-глутамилтрансферазы, являющейся маркером пассивного переноса иммуноглобулинов у новорожденных млекопитающих, почти в 10 раз ниже, чем у наземных животных; 2) активность щелочной фосфатазы, используемой в качестве показателя упитанности животных и для дифференциации катаболических и анаболических состояний, у изученных тюленей превышает таковую у одновозрастных наземных млекопитающих; 3) ластоногие уже при рождении обладают высокой кислородной емкостью крови на уровне показателей взрослых животных; 4) в первый месяц жизни бактерицидная функция лейкоцитов осуществляется, главным образом, при участии миелопероксидазы, катионные белки служат лишь дополнением бактерицидной системы. Перед сходом в воду и началом самостоятельного питания возрастает роль катионных белков, проявляющих бактерицидную активность в анаэробных условиях.

Установлены видовые особенности выраженности отдельных метаболических реакций, обусловленные, вероятно, различной длительностью периода молочного вскармливания – от 4 суток у тюленя-хохлача до 12–14 суток у гренландского и серого тюленей.

Полученные физиолого-биохимические параметры крови трех видов ластоногих могут быть приняты в качестве референтных и в дальнейшем использоваться в системе оценки состояния животных и уровня нагрузки на них различных природных и антропогенных факторов.

Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№ АААА-А18-1180306900063-7).

**МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ КЛЕТОК КРОВИ  
ТЮЛЬКИ ОБЫКНОВЕННОЙ *CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS* NORDMANN, 1840  
ПРИ РАССЕЛЕНИИ ЕЕ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА**

**Е. А. Заботкина<sup>1</sup>, В. Е. Средняков<sup>2</sup>, Д. Ю. Трофимов<sup>1</sup>, И. С. Ягунов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д.109, zabel@ibiw.ru;*

<sup>2</sup> *Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
150000, Россия, г. Ярославль, проезд Матросова, 9*

Активная хозяйственная деятельность человека и изменение климата создают условия для расширения ареалов обитания отдельных видов флоры и фауны. Новые виды, перемещаясь в биотопы, где они отсутствовали ранее, изменяют структуру существующих экосистем, встраиваются в пищевые цепи и основательно изменяют их.

Одним из ярких примеров видов-вселенцев рыб на территории Европейской части России является тюлька черноморско-каспийская, которая в настоящее время проникла практически во все водохранилища бассейна р. Волги, включая Шекснинское.

Хорошо исследованы питание тюльки, ее роль как пищевого объекта для других видов хищных рыб, формирование популяций тюльки в пресных водоемах, изменение активности пищеварительных ферментов тюльки при действии токсикантов и высокой температуры среды. Есть отдельные работы по биохимическим характеристикам клеток красной крови, патоморфологическим изменениям и накоплению токсикантов в органах тюльки, обитающей в различных участках Каспийского и Черного морей, но гематологические характеристики тюльки, обитающей в Волжских водохранилищах, практически не исследованы.

В данной работе приведены данные по характеристикам клеток красной и белой крови тюльки, выловленной в 2015-2019 гг. в экспедициях по бассейну р. Волги НИС «Академик Топчиев», от Ивановского до Куйбышевского водохранилища.

С помощью цифрового микроскопа Keyence VHX 1000 E на мазках периферической крови исследованы эритрограмма и лейкограмма клеток периферической крови, морфометрические показатели эритроцитов и лейкоцитов: площадь клетки и ядра, индекс формы клетки, ядерно-цитоплазматическое отношение.

Отмечено, что эритрограмма изменяется в сторону увеличения незрелых клеток от водохранилищ Верхней Волги к нижнему течению реки. При этом доля патологических изменений в эритроцитах, наоборот, снижается. Доля амитозов колеблется от 0.24% в Рыбинском водохранилище до 0.07% в Чебоксарском водохранилище. Относительное количество микроядер в эритроцитах также снижалось от 0.7% в Ивановском до 0.3% в Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах, но все показатели находились в пределах, не превышающих таковые для спонтанного мутагенеза.

Показано, что морфометрические показатели эритроцитов и лейкоцитов имеют прямую зависимость с температурой воды и насыщением воды кислородом ( $R=0.55$  и  $0.63$ , соответственно).

Лейкограмма тюльки изменяется в сторону увеличения доли лимфоцитов и снижения долей моноцитов и гранулоцитов от Верхней к Нижней Волге.

Морфометрические характеристики лейкоцитов увеличиваются по течению Волги сходным образом у лимфоцитов, метамиелоцитов и палочкоядерных нейтрофилов, тогда как у остальных типов клеток растут от Горьковского к Чебоксарскому, а затем снижаются.

Таким образом, показатели клеток крови у различных популяций тюльки, обитающей в водохранилищах бассейна Волги, отличаются по ряду параметров, коррелирующих с уровнем факторов среды обитания.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№АААА-А18-118012690123-4).*

## ИОННАЯ РЕГУЛЯЦИЯ У РЫБ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕЩА) В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ

Р. А. Запруднова

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, raz@ibiw.ru

Исследовали половозрелого леща *Abramis brama L.* Рыбинского водохранилища в диапазоне температурной толерантности: 1(2)–31(32)°С летом и 0.1–29(30)°С зимой, а также 2-х леток летом. Определяли, главным образом, различные ионные показатели (концентрацию в тканях основных катионов, потери (поглощение) ионов организмом, величину активного транспорта калия в эритроциты *in vitro*), а также содержание воды в теле, содержание белков в сыворотке крови и адренореактивность. Показано, что концентрация основных катионов в тканях рыб в диапазоне толерантности практически не менялась, за исключением температур на границе толерантности и иногда, как и у молоди карпа, в области 17–19°С (Мартемьянов, 1995). Однако величина и скорость активных и пассивных ионотранспортных процессов и величины адренореактивности была в 2–3 раза выше в области высоких температур (22)24–(28)31°С, чем в средних 5(8)–18(20)°С. В низких температурах 0.1–(3)5°С наблюдалось обратимое усиление потерь ионов и ослабление активных ионных потоков. В низких температурах (1–(3)5°С летом и 0.1–2°С зимой) возможно состояние гипобиоза, особенно если рыбы содержатся в недостаточно благоприятных условиях. Для гипобиоза наряду с изменением в поведении (оцепенение вплоть до переворота тела) характерны существенная гипонатриемия, снижение натрия в мышцах, уменьшение концентрации магния и увеличение калия в эритроцитах, значительное усиление потерь натрия организмом и ослабление активного транспорта *in vitro* ионных потоков вплоть до нулевых значений. Однако это состояние обратимо, рыбы могли находиться в гипобиозе более 2 мес. (дольше не исследовали). У щуки, окуня и налима показаны такие же изменения ионов в плазме крови при гипобиозе, как у леща. В настоящей работе предлагается концепция 3-х стратегий температурной адаптации пойкилотермных животных в зоне толерантности: холодной, умеренной и тепловой, соответствующих 3-м температурным областям (низко-, средне- и высокотемпературной). Известно, что для эктотермов полезен суточный колебательный режим температур в области избираемых значений (Константинов, 1992), однако он недопустим на границе 2-х стратегий адаптации 18(20)–22(24)°С. Наблюдали гибель рыб через 5–18 суток акклимации, то есть рыбы не могли включить механизмы адаптации по какому-либо одному типу: либо высоко-, либо средне-температурному. В 17–19°С также резко снижалось содержание воды в теле и увеличивалось общее содержание белка в сыворотке крови у двухлеток леща. Выявленная нами закономерность является общебиологическим явлением и не зависит от возраста и вида рыб. В частности, снижение уровня воды в теле в высоких температурах выявлено у плотвы и карпа (Мартемьянов, 2013), также увеличивалась скорость диуреза у карпа (Пора, Прекуп, 1960). Избираемые температуры у рыб, как правило, отмечены либо в более высоких (у теплолюбивых рыб), либо в более низких (у холодолюбивых) температурах (Голованов, 2013). Температуры в 17–19°С также относились к избегаемым для молоди карпа (Мартемьянов, 1995). Широко известно, что избегаемые температуры регистрируются у рыб в предлетальных температурах (Голованов, Линник, 1981; Голованов, 2013). В настоящей работе предлагается понятие скрытого (потенциального) температурного пессимума на границе 2-х стратегий температурной адаптации: умеренной и тепловой. Столь же нежелателен для организма колебательный режим на границе холодной и умеренной температурной адаптации, то есть низко- и среднетемпературного диапазона толерантности. В нем при суточных колебаниях температур также наблюдалась быстрая гибель рыб. На неравноценность температур в толерантном диапазоне указывали и другие исследователи. В частности, в области температурной толерантности у других эктотермов и по другим показателям выделяется два уровня регуляции (Хлебович, Михайлова, 1975; Вербицкий, 2012).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-04-48282).

## УЧАСТИЕ ИОНОВ В ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ У РЫБ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ

**Р. А. Запруднова**

*Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, raz@ibiw.ru*

Обнаружено, что во внутренней среде, как рыб, так и высших позвоночных животных изменения концентрации ионов натрия, калия, кальция и магния при патогенезе заболеваний разной этиологии соответствует таковому при воздействии различных неблагоприятных факторов: в начальный период болезни изменения концентрации ионов в тканях рыб направлены в сторону повышения концентрационных градиентов на мембране клеток, а на поздних стадиях заболевания – в сторону снижения. Стресс рассматривается в качестве главного этиологического фактора болезней адаптации или плурокаузальных болезней или общепатологических процессов (склерозы, в том числе старение, воспаление и онкогенез). Установлено, что к наиболее значимым при подостром и хроническом стрессе относятся усиление абсорбции натрия из воды на фоне устойчивой гипонатриемии и потери калия. Предполагается, что эти явления лежат в основе патогенеза болезней адаптации, и как следствие, гибели рыб. Основной механизм развития общепатологических процессов состоит в разрастании ткани неспециализированной (соединительной – при воспалении и склерозах) или мало специализированной (малегнизированной – при онкогенезе) и гибели ткани специализированной. При различных болезнях у рыб и высших позвоночных в больных тканях обнаружено увеличение концентрации натрия, свободного кальция, уменьшение калия и магния. Из работ на высших позвоночных животных известно, что ионы натрия участвуют в разрастании соединительной ткани при различных воспалительных процессах, при старении и малигнизации ткани при онкогенезе. При подостром и хроническом стрессе происходит переход общего неспецифического звена адаптации в общее неспецифическое звено патогенеза. В частности, усиление абсорбции натрия из воды сопровождается гипонатриемией. Вероятно, ионы натрия переходят в депо. Натрий, задерживаясь во внеклеточной жидкости соединительной ткани, повышает концентрационные градиенты на мембране ее клеток и поэтому создает условия для избыточно анаболических процессов и, следовательно, ее разрастания в ущерб специализированной ткани. Таким образом, положительная адаптивная реакция при стрессе – удержание натрия во внутренней среде организма с целью сохранения или повышения его энергетики – превращается в негативную: повышение энергетики соединительной ткани и, следовательно, возможную гибель организма рыб. Механизмы ионной регуляции принадлежат к числу наиболее древних, что также может указывать на важную роль ионов в деструктивных процессах при болезнях адаптации. Первоочередная (инициирующая) роль в саморазрушении организма, вероятно, принадлежит внеклеточным катионам натрия, которые стимулируют развитие неспециализированных или мало специализированных тканей и тем самым вытесняют (опосредованно разрушают) ткани специализированные. Можно предположить, что ионы кальция проникают в клетки специализированных тканей, запрограммированных на гибель, и разрушают их. Внутриклеточным катионам – калию и магнию – в деструктивных явлениях, по-видимому, принадлежит вторичная (пассивная) роль. Покидая клетки специализированных тканей, они завершают процесс их разрушения. Болезни адаптации мы рассматриваем как механизмы реализации фенотипа – запрограммированной смерти. Ионам, как древнейшим механизмам регуляции, вероятно, принадлежит в этом главнейшая роль. Из полученных результатов следует, что для поддержания жизнеспособности организма при хроническом и подостром стрессе необходимо выводить внеклеточные катионы (натрий, кальций) и удерживать в организме внутриклеточные (калий, магний).

## СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РЫБ ПО ИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

**Р. А. Запруднова**

*Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, raz@ibiw.ru*

Ионные концентрационные градиенты на клеточной мембране принадлежат к числу показателей энергетического состояния организма. На нескольких видах рыб Рыбинского водохранилища нами разработаны 4 способа диагностики состояния рыб, включающие 4 уровня биологической организации: клеточный, тканевый, организменный и системный.

1 способ – исследования на организменном уровне. Предлагается метод разделения пресноводных рыб по устойчивости к стрессу в естественной и искусственной среде обитания по показателям ионного обмена в небольшом объеме воды сниженной минерализации, предпочтительнее такого же ионного состава, что в природном водоеме. Главным отличием рыб устойчивых от неустойчивых к стрессу является способность первых поддерживать натриевый баланс на уровне равном или более низком, чем концентрация натрия в открытых пресных водоемах. У устойчивых к стрессу особей также меньше скорость и величина потери ионов натрия и калия. Время диагностики в природной воде (или воде такого же ионного состава) не превышает полусуток. Определение индивидуальной устойчивости среди стрессоустойчивых рыб проводится по калиевому обмену. Время диагностики от 1.5 до 3 сут. Скорость диффузии ионов калия и концентрация ионного баланса связаны обратной зависимостью со стрессоустойчивостью. К показателям высокой устойчивости относится также эпизодическое (тем более устойчивое) преобладание абсорбции этих ионов над потерями.

2 способ – исследования на тканевом уровне. Для диагностики состояния рыб рекомендуется использовать концентрации ионов натрия, калия, кальция и магния в различных тканях (плазма крови, эритроциты, мышцы), при этом из 4-х ионов плазмы крови предпочтение отдается натрию во внутренней среде. Уменьшение концентрации натрия в плазме крови рассматривается в качестве индикатора патологического стресса, возникающего на сильные и/или длительно действующие раздражители. Наиболее характерным признаком физиологического стресса, возникающего на несильные и непродолжительные раздражители, является гипернатриемия.

3 способ – исследования на клеточном уровне. По динамике концентрации калия в плазме крови *in vitro* судили об активном транспорте ионов в эритроциты, т.к. переход ионов калия из плазмы в эритроциты был направлен против концентрационного градиента, ингибировался убаином и низкими температурами. В качестве диагностических применяли два показателя: 1) скорость уменьшения концентрации калия в плазме крови, которую вычисляли как частное от деления разности концентрации между конечной и начальной точками инкубации на время инкубации; 2) послеинкубационная концентрация калия – минимальное стабильное значение, которое устанавливалось в процессе инкубации крови. Результаты анализа готовы уже через 1.5–2 ч после забора крови.

4 способ – исследования на системном уровне. Выделены три основных этапа развития патологических изменений в системе водно-солевого равновесия рыб: гиперсинхронизация, ареактивность и собственно патология. В характеристике каждого этапа использовали показатели, регистрируемые на организменном, тканевом и клеточном уровнях организации. Гиперсинхронизация – устойчивые, бесколебательные отклонения в сторону повышения ионных концентрационных градиентов на клеточной мембране. Абсолютная и/или относительная ареактивность – отсутствие или уменьшение реакции на стрессор. Собственно, патология – устойчивые отклонения в сторону снижения ионных концентрационных градиентов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-04-48282).*

## СОСТОЯНИЕ ГОНАД КОЛЬЧУЖНЫХ СОМОВ (СЕМ. LORICARIIDAE) ПРОВИНЦИИ КХАНЬХОА (ВЬЕТНАМ)

Чан Дык Зьен

Приморское отделение Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, 30 НгуенТхиенТуат, г. Нячанг, пров. Кханьхоа, Вьетнам;  
Высший научно-технический университет Вьетнамской академии наук и технологий,  
18 ХоангКуок Вьет, Каугуай, Ханой, Вьетнам, mrtran\_cnvb@yahoo.com

Наряду с возрастающим антропогенным влиянием пресноводные тропические экосистемы Вьетнама испытывают пресс от инвазии чужеродных рыб (Столбунов и др., 2017; Чан Дык Зьен, 2019). Одними из таких широко распространённых вселенцев являются кольчужные сомы двух видов *Pterygoplichthys pardalis*, *P. disjunctivus*, а также их гибрид (*P. pardalis* × *P. disjunctivus*) (Чан Дык Зьен и др., 2020). Учитывая их потенциальное влияние на популяции аборигенных рыб, следует оценить состояние и особенности функционирования репродуктивной системы кольчужных сомов в водоёмах и водотоках разного типа.

Рыб отлавливали в январе 2020 г. сетными орудиями лова в реке Кай (Cái) (22 экз.), канале, впадающем в реку Кай (27 экз.), и водохранилище Суоичау (SuốiTrâu) (15 экз.); измеряли длину (*TL*) и массу тела. Фрагменты гонад особей фиксировали в нейтральном 10% формальдегиде. Гистологические препараты изготавливали по стандартным методикам, определяли стадию зрелости гонад и их цитологическое состояние.

В реке и водохранилище в основном встречался *P. disjunctivus* (55 и 85%, соответственно), а в канале – гибрид (36%). Длина и масса рыб слабо коррелируют с их видовой принадлежностью – 0.24–0.27 при  $p < 0.001$  (ранговая корреляция Спирмена); они были больше ( $p < 0.001$ , *U*-критерий Манна-Уитни) у речных рыб (21 (15–33) см и 180 (73–530) г) по сравнению с особями из канала (16 (12–25) см и 88 (40–255) г) и водохранилища (17 (12–26) см и 70 (20–161) г). (Перед скобками указано среднее значения показателя, в скобках – пределы его варьирования). Соотношение полов было 1:1.

Не выявлено связи ( $p > 0.05$ , здесь и далее *H*-критерий Краскела-Уоллиса) степени созревания половых желёз, как у самок, так и у самцов с их видовой принадлежностью. У самок стадии зрелости гонад не различаются в реке и её канале, гонады были на II, III и IV стадиях. Яичники рыб из водохранилища находились на II стадии зрелости, были менее развиты ( $p < 0.001$ ), чем таковые у особей из реки и канала. Яичники у части рыб на II и III стадиях зрелости имеют утолщённую оболочку, что свидетельствует о том, что такие особи уже нерестились. Утолщение оболочки отмечено у рыб длиной  $> 19$  см, чаще  $> 23$  см. Это указывает на то, что повторный нерест возможен у самок при достижении длины тела 19–20 см.

Гонады исследованных самцов также были на II–IV стадиях зрелости, но степень развития семенников не зависела ( $p > 0.05$ ) от принадлежности особей к конкретному водоёму. Часть семенников на II–III стадиях зрелости содержат полости, оставшиеся от предыдущего нереста – семенные каналы, иногда заполненные немногочисленными сперматозоидами. Длина рыб с такими гонадами обычно составляет от 17 до 32 см.

Единовременное наличие рыб с гонадами, находящимися на разных (II–IV) стадиях зрелости, подтверждает растянутый нерест у кольчужных сомов. Не выявлено значимых аномалий в цитологическом строении гонад, как самок, так и самцов, что свидетельствует об успешной адаптации видов и гибрида в исследованных водоёмах провинции Кханьхоа.

## СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ ИНГИБИТОРОВ ПРОТЕИНАЗ В ФИЗИОЛОГИИ ЦЕСТОД

Г. И. Извекова<sup>1</sup>, Т. В. Фролова<sup>1</sup>, М. М. Соловьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, izvekova@ibiw.ru;

<sup>2</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11,

Одна из фундаментальных проблем паразитологии – проблема взаимоотношений паразита и его хозяина. Для установления тесных специфичных взаимоотношений при попадании в организм хозяина паразит всесторонне адаптируется к жизни в этих условиях. Кроме того, гельминты, обитающие в кишечнике позвоночных животных, должны противостоять действию протеолитических ферментов хозяев. Один из главных механизмов защиты гельминтов, обитающих в кишечнике позвоночных животных, от пищеварительных ферментов хозяев, – секреция ингибиторов, способных эффективно инактивировать протеиназы хозяина. Установлена способность инкубационной среды и экстрактов цестод *Eubothrium rugosum*, *Caryophyllaeus laticeps* и *Triaenophorus nodulosus*, обитающих в кишечниках налима *Lota lota*, леща *Abramis brama* и щуки *Esox lucius* соответственно, ингибировать активность коммерческого трипсина и протеолитическую активность кишечника хозяина. Снижение протеолитической активности слизистой оболочки кишечника рыб при использовании экстрактов исследованных цестод в качестве ингибитора сопоставимо с таковым при применении ингибитора сериновых протеиназ – PMSF. Экстракт *E. rugosum* ингибирует протеолитическую активность не только у налима, но и у двух других видов рыб (синца и леща). Ингибирование экстрактом червя протеолитической активности слизистой оболочки кишечника у различных видов рыб свидетельствует об умеренной и вместе с тем достаточно отчетливо выраженной специфичности продуцируемого ингибитора по отношению к протеолитической активности хозяина. Показано, что после обработки *E. rugosum* Тритоном Х-100 с последующим центрифугированием способность ингибировать протеолитические ферменты связана исключительно со щеточной каймой тегумента цестод, в то время как черви, лишенные щеточной каймы, не обладают этой способностью. Среда инкубации цестод *E. rugosum* ингибирует активность трипсина и химотрипсина. Доля ингибирования этих ферментов не зависит от времени экспозиции паразита в среде инкубации. Ингибирующая способность среды инкубации определяется секреторно-эксреторными продуктами этих червей. В среде инкубации и фракциях щеточной каймы *E. rugosum* отмечено 9 общих белковых полос, имеющих ориентировочные молекулярные массы в районе 15–250 кДа. Только одна из этих полос также является общей с белковыми полосами, полученными из экстрактов червей. Возможно, ингибирующая способность червей определяется белками с одинаковыми молекулярными массами, обнаруженными в среде инкубации, экстракте и фракциях щеточной каймы червей. Установлено наличие трех общих полос на фореграммах среды инкубации и экстракта цестод *C. laticeps* с молекулярной массой в пределах 19–47 кДа, указывающих на наличие белков, вероятно, ответственных за ингибирующую способность цестод. Экстракт ингибирует протеолитическую активность слизистой оболочки кишечника леща, обусловленную протеиназами с ориентировочной молекулярной массой 28–53 кДа. Установлено, что экстракты других исследованных цестод (*Triaenophorus nodulosus*, *Proteocephallus torulosus* и *Eubothrium rugosum*) также ингибируют протеолитическую активность слизистой оболочки кишечника леща. На уровень ингибирующей способности влияет содержание белка в этих экстрактах: чем оно выше, тем выше способность ингибировать протеолитические ферменты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №15–04–02474а).

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КРОВИ ТЮЛЕНЕЙ

Н. Н. Кавцевич, И. А. Ерохина, Т. В. Минзюк

*Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН,  
183010, Россия, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, kavtsevitch2015@yandex.ru*

Общие закономерности развития систем организма наземных животных свойственны и морским млекопитающим. Однако их проявление у них может иметь существенные особенности, в частности, в ходе развития системы крови. В настоящей работе исследован клеточный состав крови гренландских и серых тюленей и тюленей-хохлачей разного возраста.

Для представителей изученных видов морских млекопитающих характерен гранулоцитарный профиль лейкоцитарной формулы крови. Однако в некоторые периоды раннего постэмбрионального развития у серых, гренландских и тюленей-хохлачей число лимфоцитов достигает уровня нейтрофилов и впоследствии превышает его. Это явление, "физиологический перекрест" лейкоцитарной формулы крови, отмечено у ряда видов наземных млекопитающих. В раннем постнатальном онтогенезе наиболее детально оно исследовано лишь у человека. У гренландских тюленей физиологический перекрест наблюдается в 2-3 недели, а уже в возрасте 1.5 месяцев они имеют нейтрофильный профиль крови. Число гранулоцитов и лимфоцитов у серых тюленей уравнивается в 1.5–2 месяца, а в возрасте 3-4 месяца лейкоцитарная формула уже не отличается от таковой взрослых животных. У тюленя-хохлача физиологический перекрест лейкоцитарной формулы крови отмечен также в возрасте 1.5 месяца, перед началом самостоятельного питания водными организмами. В то же время, у всех детенышей тюленей присутствуют низкодифференцированные клетки – метамиелоциты и предшественники эритроцитов, содержащие ядро. Из-за необходимости быстрого перехода к самостоятельному питанию процессы становления костномозгового кроветворения продолжаются и в начале водного образа жизни.

В составе крови гренландских тюленей, как и у многих видов наземных млекопитающих, включая представителей отряда хищных, филогенетически наиболее близких к настоящим тюленям, преобладают нейтрофилы. Кровь большинства щенков (87%) содержит "юные" нейтрофилы, метамиелоциты. У взрослых животных такие клетки мы обнаружили только в двух случаях из десяти (по 0.5%), у серок-мигрантов – также только в двух случаях (1 и 0.5%). В крови серок 1–1.5-месячного возраста, истощенных "заморышей" и бельков доля юных нейтрофилов составила, соответственно,  $1.1 \pm 0.1$ ,  $1.9 \pm 0.4$  и  $2.6 \pm 0.3\%$  от числа нейтрофилов при диапазоне колебаний  $0 \div 18\%$ . Причем различия между первыми и последними статистически достоверны ( $p < 0.01$ ). По данным литературы, после 3 мес. содержания в неволе низкодифференцированные гранулоциты у щенков гренландских тюленей появляются в заметном количестве (2–10%).

После рождения состав крови детенышей наземных млекопитающих претерпевает существенные изменения, связанные со становлением костномозгового кроветворения. В первые дни и недели жизни в крови присутствуют низкодифференцированные лейкоциты. Это, в частности, метамиелоциты, предшественники дифференцированных гранулоцитов, и даже миелоциты – клетки, способные к пролиферации в кроветворных органах. У одномесячных новорожденных человека метамиелоциты не выявляются, хотя биологический возраст людей в этот период онтогенеза меньше, чем детенышей тюленей. Тюлени в возрасте 1–1.5 мес. уже завершили молочное вскармливание и приступают к самостоятельному питанию, в то время как у человека лактация только начинается.

Период формирования системы крови у тюленей занимает относительно большую часть постнатального онтогенеза, чем у наземных млекопитающих. Это, вероятно, обусловлено меньшим количеством костного мозга у ластоногих и мелких китообразных, обладающих в связи с водным образом жизни более легким скелетом, чем наземные животные таких же размеров.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№05-04-48388-а, 06-04-02106-э\_к), за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№АААА-А18-1180306900063).*

## АДАПТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У МОЛОДИ КЕТЫ ИЗ ЭСТУАРИЯ РЕК ПЕНЖИНА И ТАЛОВКА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)

Е. И. Кальченко<sup>1</sup>, М. В. Коваль<sup>1</sup>, А. А. Попков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»,

683000, Россия, г. Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18, kalchenko.e.i@kamniro.ru;

<sup>2</sup>Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО»,

690091, Россия, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4, aleksandr.popkov@tinro-center.ru

Гиперприливной эстуарий рр. Пенжина и Таловка расположен в верхней части Пенжинской губы Охотского моря. По некоторым оценкам, высота приливов в этом эстуарии может достигать 13 м (Горин и др., 2015). Несмотря на экстремальные внешние условия, эстуарий является транзитной зоной для покатников кеты в период их миграции из рр. Пенжина и Таловка в Охотское море. Эстуарный и ранний морской периоды жизни молоди тихоокеанских лососей являются наиболее критическими в формировании численности поколений и отличаются повышенной смертностью (Карпенко, 1998; Изергин, 2020). В эти периоды в организме рыб происходит завершение различных физиолого-биохимических перестроек, направленных на их адаптацию к жизни в море (Варнавский, 1990). Цель данной работы — сравнить биохимические показатели мышечной ткани молоди кеты в эстуарный и речной периоды жизни.

Сбор материала проводили на станциях, расположенных в нижнем течении рр. Пенжина и Таловка и на акватории верхней части Пенжинской губы в июле-августе 2015 г. Об интенсификации роста сеголетков кеты в эстуарной зоне свидетельствовало увеличение их размерно-массовых показателей и содержания белков в мышечной ткани, что способствует снижению пресса хищников на рыб. Так, уровень белков у рыб массой 0.8–2.4 г из Пенжинской губы составлял 11.6–17.7% от сырой массы ткани, напротив, у рыб массой 0.4–1.6 г из рр. Пенжина и Таловка — 9.1–16.4%. На возрастание энергетических потребностей у покатников кеты в эстуарии указывало снижение содержания липидов и мононенасыщенных жирных кислот (ЖК). Уровень липидов в мышцах у рыб из Пенжинской губы находился в пределах 1.5–4.2%, а из рр. Пенжина и Таловка — 1.7–4.8% от сырой массы ткани. В эстуарный период в составе ЖК общих липидов кеты в 1.5 раза уменьшалась доля мононенасыщенных ЖК, которые играют ведущую роль в энергетическом метаболизме лососей (Weber et al., 2003). В этот период в мышечной ткани сеголетков кеты происходила перестройка состава ЖК в направлении «морского» типа. Для нее характерно повышение уровня полиненасыщенных ЖК  $\omega$ -3 типа (особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) и снижение ЖК  $\omega$ -6 типа (Henderson, Tocher, 1987). Соотношение  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 ЖК у рыб в эстуарный период составляло 6.0–14.0, в речной — 1.8–4.5. Полиненасыщенные ЖК  $\omega$ -3 типа участвуют в различных адаптационных процессах, и в частности, в функционировании осморегуляторных систем (Сидоров, 1983). Основным фактором, определяющим спектр ЖК липидов рыб, является состав ЖК потребляемой ими пищи (Kirch et al., 1988). Трофологические исследования показали, что основу питания молоди кеты в эстуарный период составляли в основном мизиды, встречались пелагические веслоногие и кумовые рачки, в речной — личинки и имаго амфибиотических насекомых (Коваль и др., 2015). Из-за смены питания у некоторой доли рыб в эстуарии были обнаружены ЖК морского происхождения (22:1 $\omega$ -11, 22:1 $\omega$ -9).

Наши результаты позволили получить представление о механизмах адаптаций, происходящих у молоди кеты в эстуарный период жизни. Интенсификация роста с одновременным возрастанием энергетических трат и перестройка состава ЖК в направлении «морского» типа должны будут обеспечивать выживание рыб в период смены пресноводной среды обитания на морскую.

## НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ РЫБ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГЕМОГЛОБИНА

**И. М. Камшилов**

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, kim@ibiw.ru*

Исследования функциональных свойств гемоглобина и других переносчиков кислорода у рыб и водных животных должны по праву занимать одно из главенствующих мест в экологической физиологии, т. к. наличие растворенного кислорода является одним из основных лимитирующих факторов, определяющих место обитания данного вида. В отличие от наземных животных, живущих при постоянном содержании кислорода в атмосфере, водные организмы (в частности, рыбы) часто сталкиваются с постоянными колебаниями концентрации этого жизненно необходимого газа, что приводит либо к их миграциям в поисках более благоприятных условий обитания, либо к адаптации к этим условиям путем выработки в процессе эволюции механизмов, дающих возможность определенному виду в них существовать.

Работа проводилась на леще, плотве и язе. Анализ функциональных свойств гемоглобина этих видов показал, что в одной выборке рыб встречаются особи со статистически значимыми отличиями как по средству гемоглобина к кислороду, так и эффекту Бора. По средству гемоглобина к кислороду лещ разделился на 4 группы, что особенно хорошо заметно при рН 6.6 и молярности буферного раствора 0.05 М, а именно  $P_{50}$  составило 32.3, 37.7, 44.4, 60.2 мм рт. ст. По величине эффекта Бора также имеются различия: 0.369, 0.504, 0.599, 0.959. У язя по средству к кислороду и величине эффекта Бора выборка разделилась на две группы с относительно высоким средством рН 6.6 и молярности буферного раствора 0.05 М,  $P_{50}$  равнялось в одном случае 91.0 и 114.4 мм рт. ст. — в другом. Эффект Бора при  $P_{50}$  составил 1.179 и 1.363. Исследования функциональных свойств гемоглобина плотвы выявили следующее: так, при рН 6.6 и молярности буферного раствора 0.05М  $P_{50}$  составило 46.8, 54.3, а величина эффекта Бора при  $P_{50}$  равнялась 0.985 и 1.223.

Таким образом, в выборках различных видов рыб, взятых в одном и том же месте при одинаковых условиях, всегда находились особи со статистически значимо отличающимися функциональными свойствами гемоглобина. Другими словами, в популяциях исследованных видов рыб присутствуют экземпляры с отличными от основной массы функциональными свойствами гемоглобина, что, с одной стороны, говорит о неоднородности популяций по данным исследованным параметрам, а с другой способствует выживанию популяции при изменении кислородного режима водоема.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 01-04-48602).*

# РАЗНООБРАЗИЕ АССОЦИИРОВАННОЙ МИКРОБИОТЫ У ПАЗАРИТОВ РЫБ С РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Е. Н. Кашинская<sup>1</sup>, Е. П. Симонов<sup>1,2</sup>, М. М. Соловьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11, [elena.kashinskaya@inbox.ru](mailto:elena.kashinskaya@inbox.ru)

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет,  
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6, [ev.simonov@gmail.com](mailto:ev.simonov@gmail.com)

Проведено изучение таксономического состава бактериальных сообществ ракообразных из рода *Lernaea* и *Argulus*, паразитирующих на внешних покровах серебряного карася *Carassius gibelio*, и микробиоты цестод *Proteocephalus* sp. паразитирующих в кишечнике Телецкого сига *Coregonus lavaretus pidschian*. Сбор ихтиологического и микробиологического материала проводили в устье р. Каргат оз. Малые Чаны (Новосибирская область, 54°36'56.3''N, 78°12'5.9''E) и озере Телецкое (Республика Алтай, 51°79'N; 87°30'E). После отлова рыб паразитические ракообразные были собраны с поверхности тела и помещены в стерильные пробирки с водой с места лова. Далее в лаборатории паразитические ракообразные были промыты в стерильном физиологическом растворе и зафиксированы в лизирующем буфере для последующего выделения ДНК. Для выявления особенностей распределения ассоциированной микробиоты у паразитов рыб, пищеварительную функцию которых выполняет тегумент, был применен подход последовательных смывов (метод десорбции) ассоциированной микробиоты. Суть метода заключалась в последовательных смывах микробиоты с поверхности тегумента цестод в стерильном растворе Рингера (pH=7.4). Первую фракцию получали через 15 сек (Д1), фракции Д2-Д5 через каждые 15 минут, и последнюю фракцию смыва (Д6) проводили в присутствии 0.2% (w/v) Triton X-100. Полученные смывы, содержащие фракции с различной степенью ассоциированности бактерий к тегументу цестод, далее лиофилизировали и использовали для выделения ДНК. Из собранных образцов была выделена тотальная ДНК с использованием коммерческого набора «ДНК-сорб В» («НекстБио»). Секвенирование гипервариабельных участков V3, V4 гена 16S рРНК проводили на платформе «MiSeq Illumina» в компании «Евроген» (Москва).

Наряду с типичными представителями нормальной микробиоты внешних покровов серебряного карася результаты проведенных исследований позволили выявить представителей условно-патогенных микроорганизмов, таких как *Flavobacterium*, *Aeromonadaceae*, *Corynebacterium* и *Streptococcus*. Показаны достоверные отличия между микробиотой неповрежденных кожных покровов рыб и микробиотой, ассоциированной с рачками из рода *Argulus* и *Lernaea*, а также микробиотой язв (ANOSIM,  $p \leq 0.05$ ).

В ассоциированной микробиоте цестод *Proteocephalus* sp. доминировали *Mycoplasma*, *Acinetobacter*, *Sphingobium* и *Cetobacterium*; в составе минорных групп бактерий прослеживались вариации. Показаны различия по составу ассоциированной микробиоты цестод при сравнении первого смыва, полученного после 15-ти секундного встряхивания, со смывом в растворе Рингера в присутствии детергента Triton X-100. Микробиота во фракциях Д2-Д5 достоверно не отличалась ( $p \geq 0.05$ ). Достоверные отличия по составу таксономических групп также получено при сравнении микробиоты желудочно-кишечного тракта Телецкого сига и паразитирующих в его кишечнике цестод. Более того, вариации в разнообразии бактерий отмечены в зависимости от отдела пищеварительного тракта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-74-00104).

## ПРОТЕОМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВ РЫБ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

М. А. Константинов<sup>1,2</sup>, А. М. Андреева,<sup>3</sup> И. Ю. Торопыгин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биомедицинской химии им. В. Н. Ореховича,  
119121, Россия, г. Москва, Погодинская, д. 10, с. 8

<sup>2</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова,  
117997, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

<sup>3</sup>Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109

Протеомные методы широко используются для изучения биологии рыб: физиологии, биологии развития, токсикологии. Чаще всего такие работы посвящены изучению так называемых «модельных» и коммерчески значимых видов рыб. В большинстве случаев для таких видов получены геномы. Именно наличие геномных данных делает возможным применение протеомных подходов. Однако для подавляющего большинства видов рыб геномы остаются неисследованными. При этом эти виды могут иметь потенциал коммерческого применения или обладать уникальными физиологическими или биохимическими характеристиками, которые не могут быть исследованы в лабораторных условиях.

В основе протеомного подхода – получение отдельных характеристик белка или белков исследуемого образца; почти всегда это измеренные массы фрагментов этих белков, полученных в результате специфического гидролиза, и спектры распада этих фрагментов в масс-спектрометре. Полученные спектры сопоставляются с известными ранее спектрами или последовательностями белков, но чаще всего с известными, аннотированными геномами.

Важно, что при протеомном анализе не происходит полного секвенирования белков, для идентификации белков используются массивы масс продуктов протеолитического гидролиза и их распада. В результате возможно, и при этом не всегда, с некоторой достоверностью предположить только короткие, примерно от 5 до 15 аминокислот участки последовательности.

Однако даже при анализе белков «немодельных» видов есть достаточно хорошие шансы описать представляющие интерес белки. Используя даже фрагментарные данные о структуре неизвестного белка, их сопоставление с существующими базами данных позволяет с достаточной достоверностью и корректностью предсказать тип и функцию белка.

Рассмотрены конкретные примеры определения группы и функций ранее не описанных белков *Platichthys flesus* и *Gadus morhua* путем сопоставления экспериментальных масс-спектрометрических данных с доступными белковыми и геномными базами видов рыб. Удалось корректно аннотировать как высококонсервативные белки, с высокой межвидовой гомологией, так и белки со значительной вариабельностью структур.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-04-00120-а).*

# ВИРУСНАЯ ИНФЕКЦИЯ И ВИРУС ИНДУЦИРОВАННАЯ СМЕРТНОСТЬ ГЕТЕРОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОДЫ В АРКТИКЕ

А. И. Копылов, Е. А. Заботкина, А. В. Романенко

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос.Борок, д. 109, kopylov@ibiw.ru*

Арктические моря — специфическая среда обитания, для которой температура ниже 0°C является неотъемлемым фактором, определяющим функционирование разнообразных групп организмов, включающих бактерии и вирусы. Микробные сообщества (вирусы, бактерии, простейшие), основным компонентом которых являются гетеротрофные бактерии, в планктонной пищевой сети выполняют важную роль промежуточного звена между запасом растворенного органического вещества (автохтонного и аллохтонного) и многоклеточным зоопланктоном. Вирусы – самый многочисленный компонент планктонного сообщества.

С помощью световой и трансмиссионной электронной микроскопии изучены вирусная инфекция и вирус-индуцированная смертность бактерий в шельфовой зоне Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря при температурах воды, ниже 0°C.

Показано, что численность бактерий и вирусов подо льдом и на участках открытой воды в шельфовой зоне Карского моря варьировали в пределах, соответственно,  $(0.07-0.35) \times 10^6$  кл/мл и  $(0.30-2.11) \times 10^6$  частиц/мл, а отношение численности вирусов к численности бактерий изменялось от 2.6 до 15.4. Установлено, что частота видимых инфицированных клеток бактерий изменялась от 0.2 до 2.3% от численности бактерий. Вирус-индуцированная смертность бактерий составила, в среднем для исследованных станций,  $7.8 \pm 1.2\%$  ( $1.4-20.2\%$ ) суточной продукции бактериопланктона, что свидетельствует о существенной роли вирусов в контроле над численностью и продукцией гетеротрофного бактериопланктона ранней весной в Карском море.

В море Лаптевых величины численности, частоты видимых инфицированных клеток бактерий и вирус-индуцированной смертности бактерий на горизонтах с отрицательной температурой воды оказались минимальными по сравнению с горизонтами с положительной температурой воды на данной станции, но сравнимыми с другими станциями с температурой воды выше 0°C.

В Восточно-Сибирском море величины численности, частоты видимых инфицированных клеток бактерий и вирус-индуцированной смертности бактерий, средние для горизонтов с температурой воды выше и ниже 0°C, оказались близкими. В тоже время, средние величины численности детритных и минеральных частиц с прикрепленными вирусами, численности вирусов, прикрепленных к этим частицам были ниже в водах шельфовой зоны с температурой воды ниже 0°C, чем в водах с положительной температурой воды, в большей степени подверженных влиянию стока рек, соответственно, в 3.8 и 1.4 раза.

Таким образом, в Арктических морях, ранней весной и осенью, при отрицательных температурах воды, вирусная инфекция и вирус индуцированная смертность бактерий имеют значения более низкие, по сравнению с таковыми в водах с положительной температурой и отличаются в водах Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, но, в целом, играют значимую роль в регуляции численности и продукции гетеротрофного бактериопланктона в шельфовой зоне морей Российской Арктики.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00326).*

# АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОТЕОМА (В Т.Ч. ПРЕДСКАЗАННОГО СЕКРЕТОМА) *SCHISTOCEPHALUS SOLIDUS* ПРИ ИНКУБАЦИИ ПЛЕРОЦЕРКОИДОВ В УСЛОВИЯХ, ИМИТИРУЮЩИХ ПОПАДАНИЕ В ТЕПЛОКРОВНОГО ХОЗЯИНА

А. А. Кочнева, Е. В. Борвинская, Л. П. Смирнов

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук",  
185910, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д.11, kochnevaalbina@gmail.com

Экологическая протеомика — новое перспективное направление протеомики, изучающее адаптационные реакции состава белков организма на изменения различных факторов окружающей его среды. В данном контексте интересны представители класса Ленточные черви, которые являются облигатными паразитами со сложным жизненным циклом. В данной работе объектом изучения были цестоды *Schistocephalus solidus* (Müller, 1776), промежуточными хозяевами которых являются эктотермные организмы, а окончательными хозяевами — эндотермные. При попадании в пищеварительный тракт дефинитивного хозяина паразит подвергается резкому нагреву до 40°C, то есть паразиты подвергаются термическому шоку. В организме окончательного хозяина у *S. solidus* запускается процесс полового созревания и продукции яиц, который длится 2–3 суток. Выявление молекулярных механизмов, отвечающих за перестройку метаболизма *S. solidus* в условиях термошока и процесс полового созревания, представляет определенный теоретический и практический интерес. В данном исследовании впервые была изучена адаптивная изменчивость протеома плероцеркоидов *S. solidus* в условиях экспериментального моделирования изменения температурного режима паразита при инвазировании им окончательного хозяина. Для этого плероцеркоидов опытной группы инкубировали в течение 48 часов при  $t^{\circ}=40^{\circ}\text{C}$  и  $\text{CO}_2=5-10\%$  до созревания и откладки паразитом яиц. Червей контрольной группы содержали в тех же условиях, но при  $t^{\circ}=17-20^{\circ}\text{C}$ , причем созревания гельминтов не происходило. Белковые экстракты паразитов анализировали методом хромато-масс-спектрометрии. Затем была проведена идентификация и функциональная аннотация белков, качественное сравнение белковых профилей *S. solidus* контрольной и опытной групп. Белковые профили червей из контрольной и опытной групп различались по количеству и разнообразию ферментов метаболизма углеводов, белков, гомеостаза ионов железа, а также по уровню ингибиторов протеаз. Профиль белков половозрелых червей отличался повышенным количеством ферментов лейцил-аминопептидаз, ферритинов, а также наличием изоформ двух гликолитических ферментов фруктозобисфосфатальдоза и енолазы, отсутствовавших у плероцеркоидов. Значительную роль в выживании паразита играют белки, секретируемые червем во внешнюю среду (секретом), так как посредством секреторных белков паразит защищается от токсичных молекул и влияет на некоторые биохимические процессы хозяина. С помощью биоинформатических методов среди идентифицированных белков червей *S. solidus* были предсказаны секретируемые белки. Анализ выявил 139 таких белков, среди которых преобладали протеолитические ферменты, пептидил-пролил-цис/транс-изомеразы, белки, участвующие в трансляции и т.д. Таким образом, были выявлены различия в белковых профилях плероцеркоидов и половозрелых червей *S. solidus*, а так же обнаружены индуцибельные белки, участвующие в перестройках метаболизма гельминта при смене фазы жизненного цикла, описаны гипотетические секреторные белки, которые могут синтезироваться паразитом и выделяться во внешнюю среду для противодействия патогенному влиянию защитных систем хозяина.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-34-90095) и средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН № 0218-2019-0076 с использованием научного оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗНЫХ МАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА ГИДРОБИОНТОВ

**В. В. Крылов**

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., пос. Борок, 109, krylovviacheslav@mail.ru*

Магнитные поля естественного и антропогенного происхождения относятся к числу наименее изученных абиотических факторов, с которыми сталкиваются гидробионты в морских и континентальных водоемах разных типов. Результаты многолетних исследований влияния магнитных полей на пресноводных рыб и беспозвоночных, выполненных в ИБВВ РАН, позволяют утверждать следующее:

1. Биологические эффекты, обнаруженные в ответ на воздействие имитации геомагнитной активности на основе реальных сигналов, экспериментально подтверждают экологическую значимость геомагнитных бурь для гидробионтов.

2. Биологические эффекты, обнаруженные после экспозиции гидробионтов в имитации геомагнитной активности, подобны биологическим эффектам слабых низкочастотных магнитных полей.

3. Биологические эффекты, обнаруженные после экспозиции гидробионтов в имитации геомагнитной активности, отличны от реакций водных организмов на экспозицию в гипомагнитных условиях (близкое к нулевому значению магнитного фона).

4. Антропогенные низкочастотные магнитные поля усиливают негативное воздействие других неблагоприятных факторов различной природы на гидробионтов, что указывает на необходимость учета влияния антропогенного электромагнитного загрязнения на водные экосистемы в условиях дополнительной нагрузки (загрязнение водоемов токсикантами органической и неорганической природы) и потепления климата.

5. Оценка влияния различных временных промежутков имитации геомагнитной бури на водные организмы указывает на то, что наибольшей эффективностью в составе этого экологического фактора обладают главная фаза и начальные этапы фазы восстановления бури, во время которых наблюдаются максимальные отклонения значения индукции геомагнитного поля от невозмущенного уровня.

6. Оценка влияния различных частотных составляющих имитации геомагнитной бури на гидробионтов указывает на то, что наибольшей биологической эффективностью в составе этого экологического фактора обладают медленные изменения индукции геомагнитного поля во время геомагнитной бури в диапазоне до 0.001 Гц.

7. Исследование воздействия временного смещения суточной геомагнитной вариации относительно смены дня и ночи на эмбрионы плотвы выявило сходство полученных эффектов с реакцией представителей этого вида на экспозицию в имитации геомагнитной бури.

8. Оценка биологических эффектов имитации геомагнитной бури в разное время суток выявила зависимость реакций гидробионтов от согласованности главной фазы бури с суточной геомагнитной вариацией.

9. Полученные результаты раскрывают принципы и закономерности влияния абиотического экологического фактора – геомагнитных бурь – на гидробионтов. Геомагнитные бури воспринимаются водными организмами как нарушение суточной вариации геомагнитного поля в ряду регулярных суточных флуктуаций, которое не согласуется с естественным циклом освещенности, что приводит к десинхронизации процессов, модулируемых разными экзогенными водителями ритма.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-34-00187, 20-04-00175).*

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ И РЕЖИМА ОСВЕЩЕНИЯ НА ЦИРКАДНЫЕ РИТМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ *DANIO RERIO*

В. В. Крылов, Е. И. Извеков, В. В. Павлова, Н. А. Панкова, Е. А. Осипова

Институт биологии внутренних вод им И.Д. Папанина РАН, Борок,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, kryloff@ibiw.yaroslavl.ru

Циркадная ритмичность поведения позволяет рыбам оптимально использовать энергию и ресурсы в изменяющихся условиях окружающей среды. Вопросы синхронизации циркадного поведения рыб с внешними водителями ритма является одной из актуальных проблем современной науки. Предполагается, что помимо первичного синхронизатора, которым является цикл освещенности день-ночь, рыбы могут использовать суточную геомагнитную вариацию в качестве дополнительного внешнего водителя околосуточных биологических ритмов.

Цель работы: исследовать динамику изменения поведенческих показателей *Danio rerio* при длительной экспозиции в различных комбинациях магнитных полей и режимов освещения.

Были использованы самцы данио дикого типа в возрасте 4 месяцев. Перед экспериментом рыбы содержались в условиях естественной суточной геомагнитной вариации при освещении 16 ч день – 8 ч ночь. Экспериментальная установка представляла собой четыре стеклянных аквариума, расположенных сверху светового короба. Над аквариумами была установлена видеокамера, регистрирующая передвижения рыб в горизонтальной плоскости. В эксперименте было использовано 4 установки (16 аквариумов на 4 световых коробах), каждая из которых находилась в одном из следующих комбинаций режима освещения и магнитных флуктуаций: 1) естественная суточная геомагнитная вариация с периодом 24 ч и размахом флуктуаций около 30 нТл при освещении 16 ч день – 8 ч ночь; 2) естественная суточная геомагнитная вариация (30 нТл, период 24 ч) при освещении 24 ч день – 12 ч ночь; 3) искусственная геомагнитная вариация с периодом 36 ч и размахом флуктуаций около 150 нТл при освещении 16 ч день – 8 ч ночь; 4) искусственная геомагнитная вариация (150 нТл, период 36 ч) при освещении 24 ч день – 12 ч ночь. Продолжительность опыта составила 5 дней. Эксперимент был проведен в трёх независимых, разделённых во времени повторностях. Для анализа циркадных ритмов двигательной активности из исходной видеозаписи каждые полчаса извлекались видеофайлы, продолжительностью 1 минута (с 15-ой по 16-ую и с 45-ой по 46-ую минуты каждого часа). Анализ видеозаписей выполнялся при помощи программного обеспечения с открытым кодом idTracker (<http://www.idtracker.es>). После обработки видеофайла, были получены координаты X и Y, отражающие положение центра тела рыбы в горизонтальной плоскости на каждом кадре. На основе этих данных вычислялись основные показатели двигательной активности. Динамика изменений этих показателей соотносилась с периодичностью исследованных внешних водителей циркадных ритмов. Оценка влияния изучаемых физических факторов и их комбинаций на двигательную активность данио производилась с помощью дисперсионного анализа.

Полученные в эксперименте данные на момент подачи тезисов находились в обработке. В докладе будут представлены результаты исследования, отражающие возможное влияние исследованных комбинаций факторов освещенности и периодического изменения магнитного фона на циркадные ритмы двигательной активности *D. rerio*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00175.

# ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИЗОФЕРМЕНТНЫХ СПЕКТРОВ МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ ДВУХ ВИДОВ МАЛОХРОМОСОМНЫХ ОСЕТРОВЫХ

**Е.В. Кузьмин**

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, kuzmev@ibiw.ru*

В настоящее время в результате истребительного промысла, гидростроительства, загрязнения окружающей среды и других антропогенных факторов, численность осетровых резко сократилось, а ряд популяций и даже видов практически полностью уничтожены. Одним из выходов из сложившейся ситуации представлялось создание маточных стад осетровых на рыбоводных заводах. Однако в процессе одомашнивания стали появляться отличающиеся низкой плодовитостью, но жизнеспособные рыбы с необычными хромосомными наборами (в естественных условиях ранее не встречавшимися). В этой связи особенно остро встала необходимость контролировать генетическую структуру стад осетровых по максимальному количеству параметров, с целью выбраковки производителей с нежелательными параметрами. Одним из маркеров, используемых при мониторинге биохимических характеристик осетровых, является малатдегидрогеназа (МДГ, 1.1.1.37). Гетерогенность, полиморфизм и фенотипическое разнообразие её у осетровых рыб подробно изучены и описаны. Однако до сих пор не существует целостной гипотезы о схеме наследования этого фермента, в связи с чем контроль осуществляется лишь на фенотипическом уровне.

Анализ зимограмм малохромосомных севрюги и амударьинского лопатоноса ( $2n \approx 120$ ) с учетом результатов денситометрирования позволил предложить непротиворечивую гипотезу о схеме наследования малатдегидрогеназы, объясняющую механизм формирования всех фенотипов, выявленных с учетом индивидуальных различий интенсивности окрашивания изоферментов. Суть данной гипотезы состоит в том, что образование изозимов контролируется комплексом из восьми генов, представленных различными аллелями, в том числе и их нулевыми вариантами. Субъединицы, продукты разных локусов, по-разному ведут себя в процессе ассоциации в нативные димерные молекулы фермента. Одни из них рекомбинируют свободно и независимо, в то время как другие объединяются избирательно. В итоге на электрофореграммах мы видим результат суммирования этих двух независимых процессов. Большинство выявленных фенотипов могут быть детерминированы несколькими вариантами генотипов. В то же время, имеется значительное количество спектров, являющихся результатом активности единственно возможного сочетания генов. Такие спектры можно рекомендовать для проведения скрещиваний при исследовании малатдегидрогеназы осетровых рыб.

В ходе проведения анализа и изучения литературы было обнаружено удивительное сходство между механизмом формирования изоферментных спектров МДГ осетровых и одноклеточных трипаносомид. Аналогия между столь эволюционно далекими организмами наводит на мысль о том, что в основе процесса образования нативных молекул димерной МДГ лежат общебиологические закономерности.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета в рамках государственного задания № АААА-А19-119102890013-3.*

## РЕГУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ПИЩИ У РЫБ

**В. В. Кузьмина**

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, vkuzmina@ibiw.yaroslavl.ru*

Пищевое поведение рыб регулируется многоканальной системой управления, включающей все известные механизмы нервного и гуморального контроля, интеграция которых осуществляется в гипоталамусе при участии других структур мозга (пищевой центр). Голодание инициирует поиск пищи благодаря сигналам, поступающим из депо, и увеличению экспрессии в слизистой оболочке желудка мРНК *грелина*. Эти сигналы и сигналы, поступающие от сенсорных систем, увеличивают экспрессию мРНК орексигенных пептидов мозга (нейропептида Y (NPY), орексинов, галанина, меланинконцентрирующего гормона, агутиподобного пептида (AgRP), аелина, нейропептида В, секретонерина и пептидов эндоканабиноидной системы), инициирующие поиск объектов питания. После удачного консуматорного акта и завершения желудочной фазы пищеварения пища под контролем гастринина переходит в кишечник. Кислое содержимое желудка стимулирует выделение секретина. Эти процессы находятся под контролем парасимпатической и симпатической нервных систем. Ацетилхолин, секретин, холецистокинин и гастрин релизинг-пептид запускают синтез и транслокацию пищеварительных ферментов поджелудочной железой. Переваривание пищи сопровождается переходом продуктов гидролиза во внутреннюю среду организма. Часть из них метаболизируется, часть при участии инсулина депонируется. После этого периферические гормоны и пептиды (соматостатины, холецистокинин, серотонин, пептид YY и глюкагоноподобный пептид) подавляют секрецию ферментов поджелудочной железы. Одновременно действуют анорексигенные факторы мозга (холецистокинин, бомбезин, лептин, серотонин, меланокортины, в том числе  $\alpha$ -меланоцит-стимулирующий гормон, CART, CRF, PACAP, пептид YY и нейромедин U). Помимо указанных в регуляции питания участвуют другие гормоны и биологически активные вещества.

Существует сложная сеть перекрещивающихся и частично дублирующих друг друга различных гуморальных и нейро-гормональных механизмов регуляции пищевого центра, включающих прямое и опосредованное участие всех катаболических и анаболических процессов, протекающих в различных тканях и органах рыб. При этом в краткосрочной регуляции пищевого поведения рыб важную роль играют конечные продукты гидролиза пищевых субстратов. Так, повышение уровня глюкозы, олеата или лейцина приводит к снижению содержания в гипоталамусе мРНК NPY/AgRP, увеличению количества мРНК POMC/CART и уменьшению потребления пищи, тогда как снижение уровня питательных веществ, напротив, увеличивает содержание мРНК NPY/AgRP, снижает количество мРНК POMC/CART и увеличивает потребление рыбами пищи. Роль отдельных регуляторных механизмов в значительной мере зависит от структурных и функциональных особенностей мозга, пищеварительной и других систем организма рыб. Сходство характера изменения показателей пищевого поведения и концентрации резервных веществ, изменяющихся под влиянием метаболических гормонов, и ряд других фактов свидетельствует о существовании у рыб единого контура регуляции процессов экзо-, эндотрофии и обмена веществ.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 013-04-00248).*

## АКТИВНОСТЬ ПРОТЕАЗ В КИШЕЧНИКЕ МОЕВКИ ПРИ ИНВАЗИИ ГЕЛЬМИНТАМИ

М. М. Куклина

Мурманский морской биологический институт РАН,  
183010, Россия, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, kuklina@mmbi.info

Моевки (*Rissa tridactyla*) – широко распространенные колониальные морские птицы Баренцева моря. Как и все представители морской орнитофауны, большую часть времени жизненного цикла они проводят в море и лишь в период с весны до середины лета на скалистых утесах приступают к размножению, насиживанию яиц и выкармливанию птенцов.

Определение активности протеаз тонкого кишечника моевок из разных возрастных групп в гнездовой период, а также изучение влияния заражения ленточными червями на процессы пищеварения стало целью работы.

Объектом исследования служила моевка *R. tridactyla* – взрослые особи ( $n=36$ ) и гнездовые птенцы в возрасте 3–4 недель ( $n=14$ ). Материал собран в ходе береговых экспедиций в районе мыса Крутик, прилегающего к территории Гавриловского архипелага (Кандалакшский государственный природный заповедник) в период с 2007 по 2015 гг. Моевку вскрывали, вырезали желудочно-кишечный тракт и отделяли тонкий кишечник, который делили на три равных по длине отдела: проксимальный, медиальный и дистальный. Для биохимического анализа использовали слизистую оболочку кишечника, в которой измеряли активность протеаз (активность трипсина, КФ 3.4.21.4, химотрипсина, КФ 3.4.21.1. и дипептидаз, КФ 3.4.13.18) по методу Ансона в модификации Л.Н. Алексеенко. В каждом отделе кишечника проводили паразитологический анализ.

Установлено, что моевка инвазирована главным образом двумя видами ленточных червей: *Alcataenia larina* (Cestoda: Dilepididae) и *Tetrabothrius erostris* (Cestoda: Tetrabothriidae), а проксимальный отдел тонкого кишечника птиц – основное место их локализации. Птиц разделили на незараженных и зараженных.

Снижение активности протеаз вдоль кишечника у птенцов зарегистрировано от проксимального отдела к дистальному, а у взрослых особей в указанном направлении активность ферментов повышается. Активность протеаз снижается в слизистой тонкого кишечника у птенцов при инвазии ленточными червями *T. erostris* и *A. larina*. Аналогичная тенденция отмечена и для взрослых моевок, инвазированных *T. erostris*. У взрослых птиц при инвазии *A. larina* активность протеаз повышается в проксимальном и медиальном отделах и снижается в дистальном отделе кишечника.

Уменьшение протеолитической активности в кишечнике зараженных птиц, по-видимому, обусловлено тем фактом, что гельминты адсорбируют на поверхности тегумента ферменты хозяина, а также блокируют их активность. Недавние экспериментальные исследования показали, что гомогенаты ленточных червей *A. larina* и *T. erostris* способны ингибировать активность коммерческого препарата трипсина и протеолитическую активность гомогената слизистой кишечника птиц.

Увеличение активности протеаз в слизистой кишечника при высокой инвазии *A. larina* может быть вызвано повреждением поверхности кишечника прикрепительным аппаратом червей и выходом внутриклеточных протеаз в просвет кишки. Ленточные черви *A. larina* обладают прикрепительным аппаратом заякоривающего типа – сколекс оснащен четырьмя мускулистыми присосками и 20–23 крупными крючьями. Снижение активности протеаз в дистальном отделе, вероятно, связано с перераспределением активности ферментов вдоль кишечника. Пищеварительный тракт птиц имеет высокую морфологическую пластичность по отношению к изменениям пищевых потребностей в течение жизни и хорошо адаптируется к физическим и химическим параметрам разных кормов. Изменение активности пищеварительных ферментов – это один из механизмов, при помощи которого желудочно-кишечный тракт может отреагировать на изменения состава и количества пищи.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0228-2019-0002.

## БИОИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕТАБОЛОМА ПРЕСНОВОДНЫХ МАКРОФИТОВ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ИХ АЛЛЕЛОХЕМИКОВ НА ПЛАНКТОННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Е. А. Курашов<sup>1,2</sup>, Е. В. Федорова<sup>2</sup>, Ю. В. Крылова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт озераедения Российской академии наук, обособленное подразделение СПб ФИЦ РАН, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9, [evgeny\\_kurashov@mail.ru](mailto:evgeny_kurashov@mail.ru);

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» ("ГосНИОРХ" им. Л. С. Берга),  
199053, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26

Продукция, накопление и высвобождение первичных и вторичных метаболитов (низкомолекулярных органических соединений) водными и полуводными растениями, которые ингибируют и/или стимулируют прорастание и развитие других растений и микроорганизмов, являются важным механизмом физиолого-биохимической адаптации и взаимодействия между этими организмами в водных экосистемах. Водные макрофиты являются одним из ключевых компонентов внутренних вод и выполняют важнейшую средообразующую функцию, в том числе посредством аллелопатии. В частности, ряд видов макрофитов являются активными продуцентами аллелохемиков, ингибирующих развитие фитопланктона в мелких озерах. Аллелохимические соединения могут характеризоваться многими биологическими эффектами (более 2700), которые очень трудно проверить экспериментально. Наши предыдущие исследования показали, что число компонентов низкомолекулярного метаболома конкретных водных макрофитов может быть более 200, а всего таких соединений насчитывается более 1200. В таких случаях целесообразно использовать подходы био- и хеминформатики. Оптимальным решением проблемы обнаружения наиболее перспективных метаболитов-аллелохемиков является использование биоинформационной методологии QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship), т.е. прогнозирование характеристик биологической активности по структурам химических соединений). Данный метод позволяет подобрать наиболее перспективные соединения в натуральном сырье, обладающие тем или иным необходимым эффектом, для их дальнейшего целенаправленного экспериментального изучения. Данное исследование было проведено с целью выявления аллелохемиков ряда ключевых макрофитов внутренних водоемов (*Nuphar lutea* (L.) Sm., *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Eloдея canadensis* Michx, виды рода *Potamogeton*) с высокой биологической активностью в отношении планктонных цианобактерий. Обнаружение и идентификация соединений проводились методом ГХ/МС. Программа PASS 14 (Прогнозирование спектров активности для веществ) была применена для прогнозирования спектров биологической активности основных компонентов с целью выявления их экологического потенциала против цианобактерий. Прогнозы PASS были успешно сопоставлены с имеющейся информацией о биологической активности этих соединений и также подтверждены экспериментально. Было показано, что монокарбоновые кислоты, галловая кислота, цис-6-октадеценовая кислота, цис-9-октадеценовая кислота, пальмитолеиновая кислота, линоленовая кислота и 9-цис-12-цис-линолевая кислота являются наиболее перспективными соединениями для экспериментальной проверки и создания природных альгицидов. Для монокарбоновых кислот и галловой кислоты было экспериментально подтверждено, что они могут значительно ингибировать рост *Synechocystis aquatilis* Sauvageau и *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Vornet и Flahault. На основе совместного действия карбоновых кислот и галловой кислоты создан и запатентован альгицид нового поколения для ингибирования развития цианобактерий в природных водоемах. Биоинформационный подход является наиболее приемлемым для дальнейшего поиска наиболее эффективных комбинаций аллелохемиков в отношении определенных видов цианобактерий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 13-04-90744, № 14-34-50486).

## ВЛИЯНИЕ АСТАТИЧНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОБИОНТОВ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ

С. В. Лукиянов, В. А. Кузнецов, Е. А. Лобачёв

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,  
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68, [zoomordovia@gmail.com](mailto:zoomordovia@gmail.com)

Предложенная А.С. Константиновым (1987) концепция астатического оптимума стала теоретическим фундаментом многочисленных исследований влияния колебательных режимов экологических факторов на жизнедеятельность самых различных организмов как животного, так и растительного происхождения. Было показано, что колебания практически любого экологического фактора рядом с оптимумом с выходом в зоны нормы приводит к необходимости физиологической работы. Как считается, таким образом инициируется состояние физиологического стресса, что проявляется в разнообразных позитивных эффектах (ускорение роста и развития, увеличение выживаемости и плодовитости, снижение затрат корма на единицу прироста биомассы, снижение вариабельности особей по многим показателям и др.).

Авторами, развивая одно из направлений научной школы А.С. Константинова, проведены эксперименты для оценки влияния астатичных режимов температуры, солености и рН на ранний онтогенез гидробионтов. В качестве объектов использовались разные виды рыб (*Acipenser baerii*, *Esox lucius*, *Cyprinus carpio*, *Perca fluviatilis*), земноводных (*Lissotriton vulgaris*, *Rana temporaria*, *Pelophylax ridibundus*, *Bufo viridis*, *Bufo bufo*, *Xenopus laevis*) и один вид моллюсков (*Lymnaea stagnalis*). В общей сложности влияние колебаний факторов на раннее развитие изучено в ходе 125 наблюдений-режимов в результате 30 экспериментов в 3-х (редко в 2-х) повторностях. В том числе изучено влияние колебаний температуры в 46 наблюдениях на 10 видах, колебаний солености – в 40 наблюдениях на 9 видах и колебаний рН – в 39 наблюдениях на 11 видах. Такой объем экспериментальных данных позволяет сделать некоторые самые общие заключения о влиянии астатичности указанных факторов на ранний онтогенез гидробионтов. На наш взгляд, такие заключения (пусть и с некоторыми оговорками) вполне могут быть экстраполированы на пресноводных гидробионтов умеренного климатического пояса в целом.

1. В отношении любого из изученных видов гидробионтов всегда удавалось найти такой астатичный режим изучаемого фактора, который бы влиял на ранний онтогенез лучше, чем условия статического оптимального значения этого фактора.

2. Колебания температуры рядом со стационарным оптимумом с амплитудами 0.5–2°C в 91% случаев приводили к выраженным позитивным эффектам (в остальных наблюдениях не отмечено негативного влияния). При расширении амплитуды колебаний до 2.5°C стимулирование отмечалось лишь в 67% случаев. А при амплитудах 3°C и выше в 60–100% случаев отмечались негативные эффекты.

3. Периодическое помещение гидробионтов из пресной воды в воду с соленостью 1–2‰ в 65% случаев стимулировало ранее развитие (в остальных случаях не было негативного влияния). Колебания в интервале 0–3‰ благоприятно сказывались в 50% случаев, причем в 13% случаев наблюдали негативные эффекты таких колебаний. При еще больших колебаниях солености негативные эффекты преобладали.

4. Изменение рН водной среды возле стационарного оптимума с амплитудами 0.5–1 ед. в 88% случаев стимулировало эмбрионально-личиночное развитие. Негативные эффекты от таких колебаний отмечались лишь в 4% наблюдений. При увеличении амплитуды колебаний свыше 1 ед. доля наблюдений с негативными результатами возрастала до 50–100%.

5. Эффект стимуляции раннего развития колебаниями факторов в 90% случаев был связан с возрастанием линейного и весового роста, в 88% наблюдений отмечалось ускорение темпа развития, тогда как увеличение выживаемости происходило лишь в 54% случаев.

## БИОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ДВУХ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ЭВРИБАТНЫХ ВИДОВ АМФИПОД РОДА *ОММАТОГАММАРУС*

Е. В. Мадьярова<sup>1,2</sup>, Ю. А. Широкова<sup>1</sup>, Ю. А. Лубяга<sup>1,2</sup>,  
Ж. М. Шатилина<sup>1,2</sup>, М. А. Тимофеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> НИИ биологии ФГБОУ ВО «ИГУ», 664025, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 3;

<sup>2</sup> Байкальский исследовательский центр, 664003, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 21

Байкал — самое древнее пресноводное озеро на планете с уникальной глубоководной фауной, возникшей в условиях, аналогичных тем, которые существуют в морях и океанах, включая большие глубины (до 1642 м) и сопутствующее высокое давление, темноту, стабильно низкие температуры (3.5–4°C) и ограниченную доступность пищевых ресурсов. Глубоководная фауна амфипод озера Байкал разнообразна и включает около 120 видов и подвигов, что составляет более 35% всех известных амфипод озера. Одним из интересных представителей глубоководной фауны является род *Ommatogammarus*, виды которого населяют широкий диапазон глубин. Объектом исследования в данной работе были выбраны два наиболее распространенных вида этого рода — *O. flavus* (Dyb., 1874) и *O. albinus* (Dyb., 1874). Это эврибатные специализированные падальщики, которые встречаются на глубинах от 2.5 м до 1300 м.

Целью исследования было провести сравнительную оценку энергетического метаболизма и окислительного статуса *O. flavus* и *O. albinus* в естественных и лабораторных условиях. Сбор амфипод производили в 2015 и 2016 гг. в диапазоне глубин от 50 м до 1000 м. Амфипод фиксировали в жидком азоте непосредственно после подъема, а также после акклимации к атмосферному давлению в лабораторных условиях. В лаборатории животные содержались отдельно по видам и глубинам при 4°C, в течение 9–27 дней. Энергетический статус оценивали по содержанию в тканях аденилатов (АТФ, АДФ, АМФ), глюкозы, гликогена и активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ). Окислительный статус оценивали по активности ключевых антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы, глутатион-S-трансферазы (ГСТ)), степень окислительного повреждения мембран (фосфолипидов) и запасающих (нейтральных) липидов определяли по содержанию продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ): диеновых конъюгатов (ДК), триеновых конъюгатов (ТК) и оснований Шиффа (ОШ).

Корреляции какого-либо из измеренных показателей с глубиной обитания у *O. flavus* и *O. albinus* не обнаружено, что может говорить о стабильных метаболических процессах у амфипод, поднятых с разных глубин. Для межвидового сравнения мы объединили данные со всех глубин и проанализировали отдельно по каждому исследованному показателю и для каждого года. Обнаружили, что уровень ГСТ у *O. flavus* был примерно в 2 раза выше ( $p < 0.001$ ), чем у *O. albinus* в оба года, также эта разница сохранилась и после акклимации. Уровень ДК в нейтральных липидах также был примерно в 2 раза выше ( $p < 0.001$ ) у *O. flavus*, чем у *O. albinus*. Отличия в уровнях содержания глюкозы, гликогена АТФ и АДФ, обнаруженные между видами в 2015 г. и не обнаруженные в 2016 г., возможно, связаны с разной доступностью пищевых ресурсов в данные годы. В лабораторных условиях наблюдали увеличение содержания АТФ и активности ЛДГ у *O. flavus* и снижение гликогена, что может указывает на стимуляцию гликолиза в лабораторных условиях. Аналогичная, но более умеренная тенденция отмечена у *O. albinus* (ЛДГ возрастает).

Таким образом, *O. flavus* и *O. albinus* продемонстрировали стабильность исследованных метаболических параметров на всех изученных глубинах, что подтверждает высокую адаптивность данных видов на биохимическом уровне, связанную с их эврибатным статусом. Показанные межвидовые отличия по некоторым изученным биохимическим параметрам могут указывать на видоспецифические особенности и быть связаны с предпочитаемыми глубинами. В лабораторных условиях данные виды показали схожие реакции при акклимации к атмосферному давлению.

Работа проведена при частичной финансовой поддержке РФФ—объединение им. Гельмгольца (проект № 18-44-06201), за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№ FZZE-2020-0026).

## РЕГУЛЯЦИЯ КЛЕТОЧНОГО ОБЪЕМА ПЕЧЕНИ КАРПА *CYPRINUS CARPIO* В ОТВЕТ НА ПОВЫШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАТРИЯ В ПЛАЗМЕ КРОВИ

**В. И. Мартемьянов**

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, martem@ibiw.yaroslavl.ru*

Показано, что приспособление различных клеток органов и тканей организма к гиперосмотическим растворам в опытах *in vitro* и *in vivo* различается между собой. Для адекватного понимания процессов, происходящих при приспособлении различных типов клеток организма к увеличению осмотической концентрации внеклеточной жидкости, необходимы данные, полученные *in vivo*.

У пресноводных гидробионтов в зоне критической солёности, а у эвригалинных видов при переходе из пресной в морскую воду происходит увеличение осмотической концентрации плазмы крови за счет ионов натрия и хлора. Такая ситуация является идеальной моделью для изучения механизмов приспособления клеток различных органов и тканей организма к повышению осмотической концентрации внеклеточной жидкости *in vivo*.

Цель настоящей работы – в опытах *in vivo* выявить закономерности регуляции клеточного объема печени карпа *Cyprinus carpio* в ответ на повышение концентрации натрия в плазме крови рыб, акклиматизированных в зоне критической солёности.

У карпа, акклиматизированного в диапазоне солёности 0–6 г/л, содержание различных ионов в плазме крови поддерживается на относительно постоянных уровнях. В зоне критической солёности 6–12 г/л уровень натрия в плазме крови карпа увеличился на 74.8 ммоль/л, а кальция — на 1.8 ммоль/л, в сумме составляя 76.6 ммоль/л. В печени концентрация натрия повысилась на 8.8 ммоль/кг воды, калия — на 64.1 ммоль/кг воды, кальция — на 2.5 ммоль/кг воды, в сумме составляя 75.4 ммоль/кг воды. Повышение суммарного содержания ионов в плазме крови и печени карпа в зоне критической солёности происходит приблизительно в равной пропорции, свидетельствуя о равенстве осмотической концентрации во внутренней среде и клетках. В результате объем клеток печени регулируется на постоянном уровне во всем диапазоне солёности, который карп может переносить. Поддержание уровня воды в печени на стабильном уровне независимо от солёности, также свидетельствует о постоянстве объема клеток этого органа. Небольшое увеличение количества воды в печени рыб, акклиматизированных к предельной солёности 12 г/л, может быть обусловлено уменьшением доли сухой массы вследствие повышенных энергетических затрат на обеспечение жизнедеятельности в состоянии стресса. Показано, что наиболее высокий уровень глюкозы в плазме крови наблюдается у карпа при 12 г/л, указывая на состояние сурового стресса.

В зоне критической солёности повышение осмотической концентрации внутренней среды, обусловленное гипернатремией, печень карпа компенсирует за счет накопления главным образом ионов калия, что указывает на возможное участие в этом процессе  $K^+$ - $Cl^-$  ко-транспортера. Возможно, такой же механизм реализуется в печени человека и других видов позвоночных животных в ответ на повышение осмотической концентрации во внутренней среде. Для подтверждения этого предположения необходимо получить сходные данные для различных видов позвоночных животных. Повышение уровня калия в печени карпа, акклиматизированного в зоне критической солёности, позволяет изучать *in vivo* коррелятивную связь между этим показателем и другими параметрами (мембранный потенциал, активность ферментов и др.) в физиологическом интервале изменений концентрации калия в клетках.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-04-00120 а).*

## ПИГМЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПИФИТОНА ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Н. Ю. Метелёва

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, nimet@ibiw.ru*

Эпифитон участвует в формировании первичной продукции органического вещества водоемов, однако его вклад в продуктивность большинства экосистем не оценен. Трудности изучения эпифитона обусловлены высокой вариабельностью степени обрастания макрофитов в пространственном и временном аспектах. Цель работы – определение уровня содержания хлорофилла в эпифитоне различных по трофии водохранилищ Верхней Волги: мезотрофном Угличском, эвтрофном Ивановском и умеренно эвтрофном Рыбинском.

Водные массы Ивановского, Угличского и Волжского плеса Рыбинского водохранилища сходны по прозрачности, цветности, содержанию солевого состава и биогенных элементов, но различаются степенью зарастания высшей водной растительностью, а также продуктивностью фитопланктона.

Материал собран в августе 2017 и 2018 гг. в Ивановском, Угличском водохранилищах с тростника обыкновенного, схеноплектуса озерного, рогоза узколистного, хвоща приречного и кубышки желтой, в Рыбинском – с тростника обыкновенного, схеноплектуса озерного и кувшинки чисто-белой. Анализ пигментов выполнялся традиционным спектрофотометрическим методом в общем экстракте.

В фонде зеленых пигментов эпифитона всех исследуемых водохранилищ преобладал хлорофилл *a*, составляя 83–85% суммы хлорофиллов ( $a+b+c$ ). Относительное содержание продуктов разрушения хлорофилла *a* – феопигментов изменялось от 25 до 51%. Концентрация каротиноидов тесно коррелировала с содержанием хлорофилла *a* ( $r=0.99$ ). Пигментный индекс  $E_{480}/E_{664}$ , характеризующий соотношение каротиноидов и хлорофилла *a*, не превышал единицу, что свидетельствует об активном физиологическом состоянии водорослей.

Пространственное распределение хлорофилла *a* эпифитона в литорали водохранилищ характеризовалось сильной изменчивостью ( $Cv=79–94\%$ ) и только в 2018 г. в Рыбинском водохранилище было более однородным (64). Интенсивность обрастания макрофитов различалась как у разных видов в пределах одной станции, так и на различных участках литоральной зоны водоемов. Значимой корреляции между абиотическими факторами (температура и прозрачность) и содержанием хлорофилла *a* в эпифитоне водохранилищ не выявлено.

Наиболее высокими концентрациями хлорофилла *a* в Ивановском водохранилище характеризовался эпифитон камыша озерного ( $39.9 \text{ мг/м}^2$ ) в 2017 г. и хвоща приречного ( $45.1 \text{ мг/м}^2$ ) в 2018 г., в Угличском в оба года исследований – эпифитон хвоща приречного ( $42.7$  и  $60.4 \text{ мг/м}^2$ ), в Рыбинском – камыша озерного ( $37.1$  и  $43.6 \text{ мг/м}^2$ ). В целом, интенсивность обрастания макрофитов Рыбинского водохранилища составляла  $28.5 \pm 8.9$  и  $32.1 \pm 6.8 \text{ мг/м}^2$ , Ивановского –  $24.4 \pm 4.6$  и  $27.2 \pm 4.8 \text{ мг/м}^2$ , Угличского –  $17.3 \pm 3.9$  и  $19.1 \pm 4.2 \text{ мг/м}^2$  в 2017 и 2018 гг. соответственно. Межгодовые различия в содержании хлорофилла *a* эпифитона верхневолжских водохранилищ не достоверны по критерию Стьюдента. Среднее (за оба периода наблюдений) содержание хлорофилла *a* в эпифитоне Угличского водохранилища –  $18.2 \pm 2.8 \text{ мг/м}^2$ , Ивановского –  $25.6 \pm 3.4 \text{ мг/м}^2$ , Рыбинского –  $30.3 \pm 5.5 \text{ мг/м}^2$ . Следовательно, концентрация хлорофилла *a* эпифитона увеличивалась от мезотрофного Угличского водохранилища к эвтрофному Ивановскому, но наиболее высоких величин достигала в Волжском плесе умеренно эвтрофного Рыбинского.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № АААА-А18-118012690096-1.*

## ФЕНОМЕН ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИЯ К АНТРОПОГЕННЫМ ФАКТОРАМ У РЫБ И ЕГО МЕХАНИЗМЫ

А. А. Мехтиев, Т. Н. Аллахвердиева, Н. Э. Амирбеков

Институт физиологии им. академика Абдуллы Караева НАН Азербайджана,  
AZ1100, Азербайджан, г. Баку, ул. Шариф-заде, 2, arifmekht@yahoo.com

За последние годы было проведено немало исследований, посвящённых феномену преко́ндиционирования, в основном в отношении неблагоприятных физических факторов. Эксперименты были выполнены на серебряных карасях массой 15 г (*Carassius auratus*) и 7-месячных особях сазана (*Cyprinus carpio Linne*), выращенных в прудовых хозяйствах г. Нефтячала (Республика Азербайджан). В 1-й серии исследований, выполненной на серебряных карасях, были сформированы 3 группы животных: 1) интактная группа (n=10); 2) контрольная группа, животных которой помещали на 5 сут. в пресную воду, содержащую нефтяной диспергент Корексит 9527 в концентрации 200 мг/л (n=10), и 3) опытная группа, животных которой ежедневно на протяжении 4 сут. экспонировали в кислой среде (0.05 М фосфатный буфер, pH 5.5) в течение 1 час, после чего их помещали на 5 сут. в пресную воду с диспергентом Корексит 9527 в концентрации 200 мг/л. У животных после 5-суточной экспозиции брали мазки крови, окрашивали их на предметном стекле по Романовскому и подсчитывали количество микроядер, отражавшее уровень мутаций. Было обнаружено, что в контрольной группе отмечалось резкое увеличение (в 4 раза) микроядер по сравнению с интактными животными ( $p < 0.001$ ), в то время как в опытной группе, животные которой также содержались в условиях высокой концентрации Корексита 9527, наблюдалось снижение уровня микроядер на 50% относительно контрольного уровня ( $p < 0.001$ ). Во 2-й серии исследований, выполненной на сазанах, были сформированы 3 группы животных: 1) интактная группа (n=6); 2) контрольная группа, животных которой помещали в пресную воду, содержащую неоникотиноидный инсектицид актару в летальной концентрации 400 мг/л (n=6), и 3) опытная группа, животных которой помещали в пресную воду, содержащую актару в концентрации 100 мг/л, а через 1 сут. сазанов перекладывали в контейнер с пресной водой, содержавшей летальную концентрацию актары (400 мг/л; n=6). Было обнаружено, что в течение 5-суточной экспозиции в контрольной группе погибли все особи, тогда как в опытной – все особи выжили ( $p < 0.001$ ). В 3-й серии исследований животных разделили на 2 группы: 1) интактная (n=10) и 2) опытная (n=14). Сазанов опытной группы помещали в контейнер с пресной водой, содержащей актару в концентрации 100 мг/л, и через 1 сут. их умерщвляли, выделяли головной мозг и печень, и экстрагировали белки, которые использовали в качестве антигенов в твёрдофазном иммуноферментном анализе (ИФА) на полистироловых планшетах для определения уровня серотонин-модулируемого антиконсолидационного белка (СМАБ), находящегося в прямой зависимости от уровня серотонина. При этом уровень СМАБ в мозге и печени опытной группы значительно превышал его уровень у интактных особей ( $p < 0.001$ ). В 4-й серии исследований было изучено влияние в.м. введения СМАБ на выживаемость особей сазанов массой 25–32 г, помещённых в воду, содержащую летальную концентрацию инсектицида актары. Животных разделили на 2 группы: 1) контрольная группа – животных содержали в контейнере с пресной водой с инсектицидом актара (400 мг/л; n=17); 2) опытная группа – животным внутримышечно вводили СМАБ из расчета 1 мг/10 г массы тела и помещали в контейнер с пресной водой с актарой в концентрации 400 мг/л (n=15). Было обнаружено, что в опытной группе выжили все особи, тогда как в контрольной – лишь 35% ( $p < 0.001$ ). Полученные результаты указывают на важное значение феномена преко́ндиционирования в адаптации животных к неблагоприятным факторам химической природы и на участие серотонинергической системы организма в механизме формирования феномена преко́ндиционирования.

## ОБЩИЙ АДАПТАЦИОННЫЙ СИНДРОМ ГИДРОБИОНТОВ

Е. В. Микодина

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), 107140, Россия, г. Москва, В. Красносельская, 17, mikodina@vniro.ru*

Адаптации гидробионтов, как приспособления к абиотическим и биотическим условиям водной среды обитания, формировались в процессе их длительной эволюции в течение глобальных геологических, климатических, географических изменений в палеонтологической истории планеты Земля (Шноль, 1979; Татаринцов, 2004). Так, эволюция беспозвоночных началась в протерозойской эре около 2600 млн. лет назад, хрящевых ганоидов и костистых рыб – в мезозойской, около 250 млн. лет назад.

Наиболее изученными адаптациями водных беспозвоночных и рыб являются морфологические (Соин, 1968; Черняев, 2017), этологические (Павлов, Касумян, 2018), физиологические (Орбели, 1964; Проссер, 1977; Наточин, 2005; Хлебович, 1974, 2013; Строганов, 1962; Строганов и др., 1979; Зотин, 1961). Активно исследуют биохимические, генетические, молекулярные, температурные адаптации, которые объединяют в метаболические (Шатуновский, 1980; Озернюк, 2000; Немова, 2005; Мещерякова и др., 2017). Среди физиологических адаптаций изучают приспособления систем размножения, развития, дыхания, крови, водно-солевого обмена, гормональной регуляции. Как указывал В.К. Голованов (2012), разработано несколько классификаций адаптаций водных животных, в т.ч. Г.Л. Шкорбатова (1973), В.В. Хлебовича (1981, 2012), К. Шмидт-Нильсена (1982), Н.Д. Озернюка (2000). Однако фундаментальные теоретические обобщения в контексте общего адаптационного синдрома достаточно редки и в своем большинстве датируются второй половиной XX–началом XXI века.

Формирование адаптаций животных проходит через генетические, молекулярные, биохимические, физиологические механизмы. Известное «Правило соответствия условий среды генетической преопределенности» гласит, что пока среда обитания вида (в том числе в искусственных условиях, в неволе) соответствует его генетическим возможностям развития приспособлений к её колебаниям и изменениям, этот вид существует. Любое изменение условий среды обитания (шок, стресс), считая манипуляции, может привести к отставанию формирования приспособительных реакций, ведущему к элиминации организма. Ключевыми регуляторами метаболизма организма и клеточной смерти в ответ на стресс в последнее время считают малые белки сестрины (sestrin) (Буданов, 2019).

При отсутствии своевременной реакции вида на естественное или искусственное изменение факторов среды обитания развивается стресс, который может приводить к гибели особи. Общеизвестная теория стресса разработана Г. Селье (1960, 1982) только для высших позвоночных, в частности, человека. Её основной парадигмой является общий адаптационный синдром – ОАС (General Adaptation Syndrome, GAS), развивающийся в три стадии: тревоги, резистентности (исходный средний уровень устойчивости, сопротивляемость), истощения. ОАС называют триадой Селье. Купирование ответных реакций гидробионтов на стресс на 1–2 стадиях триады Селье (дистрессе) дает положительный эффект, тогда как исход 3 стадии – гибель организма. Минимизация ответных реакций в период дистресса ОАС широко используется в практической ихтиологии (аквакультуре) с помощью различных медицинских препаратов (антипсихотиков, антидепрессантов, анестетиков), что позволяет предотвращать элиминацию особей.

Теория стресса и комплексного развития общего адаптационного синдрома для гидробионтов как обитателей изменчивой водной среды не разработана.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках разделов государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20-02.*

## ПИГМЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕСНОВОДНОГО ПЛАНКТОНА И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ

Н. М. Минеева

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, mineeva@ibiw.ru*

Фотосинтетические пигменты служат универсальным эколого-физиологическим маркером растительных организмов. Применительно к фитопланктону пигменты отражают уровень его развития, ассимиляционную активность и физиологическое состояние. Содержание хлорофилла *a* (Хл *a*) используют в качестве характеристики трофического статуса водоема и качества воды.

Многолетние исследования, выполненные на водохранилищах Волги стандартным спектрофотометрическим методом (SCOR-UNESCO, 1966), демонстрируют четкие изменения пигментного состава фитопланктона по градиенту трофии. На большом фактическом материале (более 3500 проб) показано, что при переходе от мезотрофных вод к эвтрофным отмечается увеличение концентрации пигментов: Хл *a* от  $6.3 \pm 0.2$  до  $24.8 \pm 1.1$  мкг/л, растительных каротиноидов от  $5.5 \pm 0.1$  до  $17.1 \pm 0.6$   $\mu$ SPU/л, феопигментов от  $2.0 \pm 0.1$  до  $4.3 \pm 0.1$  мкг/л. В общем фонде зеленых пигментов увеличивается доля Хл *a* от  $73.9 \pm 0.7$  до  $85.4 \pm 0.4\%$ , но снижается доля дополнительных хлорофиллов: Хл *b* от  $7.9 \pm 0.3$  до  $3.3 \pm 0.2\%$ , Хл *c* от  $18.1 \pm 0.4$  до  $11.3 \pm 0.3\%$ . Снижаются также относительное содержание феопигментов (от  $33.5 \pm 0.8$  до  $22.2 \pm 0.5\%$ ) и пигментный индекс  $E_{480}/E_{664}$  (от  $1.20 \pm 0.01$  до  $0.96 \pm 0.01$ ). Все различия достоверны ( $p < 0.05$ ). Изменения пигментных характеристик по градиенту трофии не линейны, для большинства из них резкий переход отмечается на границе мезотрофных и эвтрофных условий. Общую картину хорошо дополняют данные флуоресцентной диагностики, демонстрирующие изменение по градиенту трофии пигментного состава фитопланктона на уровне крупных таксономических единиц – отделов. Для разных трофических категорий содержание Хл *a* составляет  $5.4 \pm 0.2$  мкг/л в мезотрофных водах,  $12.6 \pm 0.2$  мкг/л в умеренно эвтрофных и  $31.2 \pm 1.4$  мкг/л в эвтрофных. Соответственно увеличивается количество Хл *a* трех основных отделов водорослей, составляя для цианопрокариот  $3.0 \pm 0.2$ ,  $8.4 \pm 0.4$  и  $21.9 \pm 1.3$  мкг/л, для диатомовых водорослей  $2.3 \pm 0.2$ ,  $4.1 \pm 0.4$  и  $8.9 \pm 0.9$  мкг/л, для зеленых  $0.13 \pm 0.01$ ,  $0.14 \pm 0.02$  и  $0.40 \pm 0.12$  мкг/л. Вклад водорослей этих отделов в общее количество Хл *a* в мезотрофных водах существенно отличается от такового в водах умеренно эвтрофного и эвтрофного типа, где он фактически одинаков. Для цианопрокариот этот вклад, соответственно, составляет  $51.3 \pm 2.2$ ,  $64.3 \pm 2.9$  и  $66.9 \pm 2.3\%$ , для диатомовых –  $45.0 \pm 2.0$ ,  $34.5 \pm 2.9$  и  $32.1 \pm 2.2\%$ , для зеленых водорослей –  $3.7 \pm 0.5$ ,  $1.4 \pm 0.3$  и  $1.0 \pm 0.1\%$ .

Выявленные закономерности в полной мере отражают особенности, присущие определенному трофическому типу вод и сохраняются как для больших рядов, включающих сезонные и многолетние данные для разнотипных водоемов, так и для отдельных водохранилищ, расположенных в различных природно-климатических зонах и различающихся морфометрией, интенсивностью водообмена, объемом боковой приточности, трофическим статусом. Полученные количественные показатели могут служить основой трофической классификации вод водохранилищ.

Аналогичные изменения пигментного комплекса фитопланктона прослежены для градиента рН на примере семи озер Дарвинского заповедника, характеризующихся широким спектром кислотности. При переходе от кислотных условий (рН 3.5–4.0) к олигоацидным (слабокислым) и нейтральным отмечается рост содержания Хл *a*, который сопровождается снижением доли его феопроизводных и уменьшением величин пигментного индекса в интервале рН 6.0–6.5. Наиболее резкое изменение пигментных характеристик происходит при граничных между кислотными и нейтральными значениях рН.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№АААА-А18-118012690096-1).*

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОСВЕЩЁННОСТИ НА ЛИПИДНЫЙ ПРОФИЛЬ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (*SALMO SALAR L.*), ВЫРАЩИВАЕМОГО В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНОГО ЗАВОДА

С. А. Мурзина, В. П. Воронин, С. Н. Пеккоева, З. А. Нефёдова,  
Т. Р. Руоколайнен, Н. Н. Немова

*Институт биологии – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”,  
185001, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11; murzina.svetlana@gmail.com*

Свет является одним из важных факторов внешней среды, который оказывает влияние на физиолого-биохимическое состояние любого организма, в том числе на метаболизм рыб. Продолжительность светового дня и температура являются основными факторами, влияющими на процесс смолтификации атлантического лосося. При этом липиды во многом определяют жизнеспособность и резистентность молоди к экологическим факторам среды. Проведен сравнительный анализ липидного профиля (по содержанию общих липидов (ОЛ), отдельных липидных классов – общих фосфолипидов (ФЛ) и их отдельных фракций – фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭА), фосфатидилсерина (ФС), фосфатидинозитола (ФИ), лизофосфатидилхолина (ЛФХ), сфингомиелина (СФМ), а также ди- и триацилглицеринов (ДАГ, ТАГ), холестерина (ХС), эфиров холестерина (ЭХС), свободных жирных кислот (СЖК) и жирных кислот общих липидов у молоди атлантического лосося (*Salmo salar L.*) возраста 0+ и 1+, выращиваемой в заводских условиях при различных режимах освещения (заводское освещение – контроль и экспериментальные режимы – пролонгированное освещение, LD 16:8 (16 ч. свет:8 ч. темнота) и круглосуточное освещение, LD 24:0) в летне-осенний период. Различные режимы фотопериода не оказали влияния на накопление молодью энергетически ценных ТАГ. Обнаружены достоверные различия содержания общих ФЛ (и их отдельных классов – ФИ, ФЭА, ЛФХ, СФМ) и ХС у молоди контрольной и экспериментальной групп (LD 16:8 и LD 24:0). Вариации ФЛ направлены на поддержание активности мембраносвязанных ферментов в условиях изменяющихся факторов внешней среды, в том числе фотопериода. Повышение содержания ФХ и ХС у молоди лосося при экспериментальных режимах освещения указывает на изменение микровязкости («стабилизацию») биомембраны, в результате чего, в том числе, снижается активность процессов свободнорадикального окисления. Выявлено доминирование у исследованных рыб мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) за счёт олеиновой кислоты – 18:1(n-9). На втором месте по количеству содержанию – полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), за счёт физиологически ценных эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК), 20:5(n-3), и докозагексаеновой кислоты (ДГК), 22:6(n-3). Установлено снижение содержания МНЖК у молоди при режиме LD 24:0 осенью, при этом количество ЭПК и ДГК увеличивалось, что коррелировало с индексами соотношений 22:6(n-3)/18:3(n-3) и 20:4(n-6)/18:2(n-6) (конвертация 18:3(n-3) и 18:2(n-6) ЖК в их производные – длинноцепочечные ПНЖК). Кроме того, о физиолого-биохимической подготовке к смолтификации молоди возраста 1+ свидетельствуют: повышение типичных для морских рыб жирных кислот – ДГК и ЭПК, а также рост коэффициента 16:0/18:1(n-9), характеризующего интенсивность метаболизма липидов. Кроме того, происходит снижение МНЖК (в основном 18:1n-9), которые активно используются молодью при полной смолтификации, что было показано нами ранее при изучении смолтификации у дикой молоди лосося. Эти биохимические изменения сопровождались увеличением массы рыбы, особенно у двухлеток (1+) в октябре при режиме LD 24:0. Таким образом, экспериментальный подбор световых режимов позволяет «управлять» вектором липидных обменных процессов у искусственно выращенных мальков в сторону трансформации «морского» типа и координировать сроки смолтификации и готовности молоди к выпуску в естественную среду.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-14-00081).*

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ГЕМОЦИТОВ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ АМФИПОД *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* В ПЕРВИЧНОЙ КУЛЬТУРЕ

А. А. Назарова, А. Н. Гурков, Е. П. Верещагина, М. А. Тимофеев  
НИИ биологии ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»,  
664011, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 3, annazarova1995@gmail.com

Озеро Байкал — это крупнейший пресноводный водоём, населённый разнообразной фауной беспозвоночных с высоким уровнем эндемизма, в которой особое место занимают эндемичные амфиподы (Amphipoda, Crustacea). Байкальские амфиподы преимущественно холодолюбивы, что делает актуальным изучение их устойчивости к повышенным температурам в контексте происходящих глобальных климатических изменений [1]. Целью данной работы было исследование влияния температурного фактора на выживаемость гемоцитов массового вида литоральных амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858) в первичной культуре.

Отлов амфипод проводили на берегу Байкала возле п. Листвянка, затем амфиподы были доставлены в лабораторию и акклимированы к 6-10°C в аквариумах с байкальской водой и интенсивной аэрацией в течение нескольких дней. Первичную культуру гемоцитов амфипод выделяли и содержали по отработанному ранее протоколу [2] при температурах 10°C, 14°C и 21°C. Оценку выживаемости клеток проводили с помощью окрашивания 0.4%-ным трипановым синим через 1, 24, 48, 72 час и 7 сут. инкубации.

По результатам исследования было выявлено, что при температуре 10°C, лежащей в пределах предпочитаемых температур данного вида амфипод [3], выживаемость гемоцитов в первичной культуре не падает ниже 95% в течение трёх дней. Уже через час содержания клеток при температурах 14°C и 21°C выживаемость гемоцитов в среднем снижается соответственно до 85% и 80% и статистически значимо отличается от соответствующего уровня при 10°C. При этом впоследствии смертность гемоцитов при 21°C становится более выраженной, чем при 14°C: например, через двое суток инкубации средняя выживаемость составляла примерно 30% и 70% соответственно.

Из предыдущих исследований известно, что для взрослых особей *E. verrucosus* при тепловом шоке и постепенном повышении температуры со скоростью 1°C/ч начало гибели наблюдается при температуре более 22°C [3]. Однако в данной работе гемоциты амфипод *E. verrucosus* демонстрируют гибель при выходе за диапазон предпочитаемых температур уже до 14°C, что совпадает с наблюдаемой миграцией данного вида от уреза воды при прогревании примерно до температуры 13°C [1]. Таким образом, полученные данные вносят существенный вклад в понимание физиологических механизмов чувствительности байкальских эндемичных амфипод к повышению температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-54-04008) и РНФ (проект № 20-64-46003).

## ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ГИДРОБИОНТОВ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

Н. Н. Немова

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”,  
185001, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11, nnnemova@gmail.com

Функциональные свойства живых организмов и их систем обеспечиваются разнообразными механизмами адаптаций. При этом возникают новые задачи, для решения которых необходимо учитывать количественные и качественные изменения в биохимическом метаболизме, имеющие значение для как для компенсации различного рода воздействий, так и для эволюционных преобразований, позволяющих им занимать новые экологические ниши. С использованием комплекса полевых и экспериментальных методов биологии – ихтиологии, гидробиологии, физиологии, биохимии, молекулярной генетики, гистологии исследовали эколого-биохимические адаптации у представителей морской и пресноводной ихтиофауны, а также объектов их питания, моллюсков, ракообразных и, в отдельных случаях, паразитов рыб. Основные результаты исследований получены при изучении гидробионтов северных широт – организмов, развитие и становление которых, как известно, происходит при сравнительно низкой температуре, слабой минерализации, олиготрофности, при постоянных сезонных колебаниях абиотических факторов и продолжительных периодах низкой доступности пищевых ресурсов. Основные исследованные виды – представители семейств *Salmonidae*, *Stichaeidae*, *Coregonidae*, *Cyprinidae*, *Clupeidae*, *Gasterosteidae*, *Percidae*, *Eso-cidae*, *Mytilidae*, *Calanidae*, *Gammaridae*, *Asteriidae*. Стабильность регуляции жизненных функций гидробионтов в различных экологических условиях обеспечивается структурными перестройками биохимических систем организма. Показана взаимосвязь различных путей клеточного метаболизма в развитии адаптаций у гидробионтов в ответ на исследованные факторы среды. Большое значение имеют адаптации на уровне микросреды, прежде всего, липидного окружения, в котором функционируют многие ферменты. Для всех исследованных видов в условиях приспособления к вариациям условий среды (например, зимовка или миграции, смена сезонов) характерно накопление высокого уровня общих липидов в теле и их обязательное депонирование, при этом особенно важным является «определение» ключевого органа жиронакопления, который обеспечивает процессы энергетического и пластического обмена в организме необходимыми липидными компонентами. Для молодежи некоторых видов рыб основным органом запасаения могут выступать уникальные физиолого-биохимические структуры, например, «липидный мешок» у молодежи люмпенуса пятнистого (арктического вида из сем. *Stichaeidae*). Для исследованных видов гидробионтов высоких широт показана гомология по качественному профилю липидов и их жирнокислотных компонентов, а также их количественному содержанию в органах, тесно связанных с наиболее значимой для всех организмов функцией – репродуктивной. Биохимические адаптации к изменению факторов среды обычно носят компенсаторный характер. При всей стереотипности адаптивных реакций, вызванных разными природными и антропогенными факторами, можно выделить некоторые различия, определяемые таксономической и половой принадлежностью организма, его физиологическим состоянием, стадией развития, природой и силой воздействующего фактора. Адаптивные изменения липидных систем во многом сходны с адаптивными изменениями белков.

Результаты работы получены при финансовой поддержке различных фондов и программ, в том числе – грантов РФФИ (№ 14-04-00473, № 17-04-00466) и РНФ (исследования раннего развития лососевых рыб – проекты № 14-24-00102, № 19-14-00081).

## ВНУТРИВИДОВАЯ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ *D. R. BUGENSIS*

В. В. Павлова, В. В. Столбунова

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109; verasmi@mail.ru

Двустворчатый моллюск *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) – колониальный эপিбионтный организм, прикрепляющийся к субстрату с помощью биссуса, имеющий планктонную личинку. В значительной степени определяет структуру и функционирование бентосных сообществ, а также является ключевым звеном в переносе вещества и энергии в водоёме. Естественный ареал вида – низовья рек Южный Буг и Ингулец. Начиная с 1940-х годов *D. r. bugensis* начала активно расселяться по водохранилищам Днепровского каскада. В конце 1980-х – начале 1990-х годов вселилась в р. Волгу и в Североамериканские Великие озёра. В XXI веке вид продолжает расселяться по Европе и Северной Америке.

В 1992 году в оз. Эри на глубинах более 40 м был обнаружен глубоководный экотип *D. r. bugensis*, позднее выявленный также в озёрах Онтарио, Мичиган и Гурон. Его представители были найдены в 2009 году также и в Чебоксарском водохранилище на р. Волге. Типичный, мелководный, и глубоководный экотипы *D. r. bugensis* имеют существенные морфологические, экологические и физиологические различия, которые, как мы полагаем, должны быть генетически обусловлены.

Ранее предпринимались попытки найти генетический маркер, который разделяет два экотипа *D. r. bugensis*. Работы по изменчивости последовательностей генов COI, 16S рДНК и *cut b*, а также аллозимов и RAPD локусов не выявили различий между двумя экотипами.

Мы провели анализ изменчивости по микросателлитным локусам, обычно применяющийся для изучения структуры популяции. Анализировали изменчивость по микросателлитным локусам Dbu75 и Dbu93 (тетрануклеотидные) и Dbu110 (динуклеотидный) (Feldheim et al., 2011). Были исследованы представители вида из оз. Мичиган (по 50 особей типичного и глубоководного экотипа) и из Чебоксарского водохранилища (по 30 особей).

Всего для трёх исследованных микросателлитных локусов выявлено 42 аллеля: для Dbu75 – 13, для Dbu93 – 17, для Dbu110 – 12. Средние значения наблюдаемой гетерозиготности  $H_O$  по всем локусам (0.455–0.578) были ниже, чем ожидаемой  $H_E$  (0.680–0.803) для всех выборок. Значения коэффициента инбридинга  $F_{IS}$  были довольно высоки и составляли 0.280–0.412. Указанные значения  $H_O$  и  $F_{IS}$  обусловлены высокой частотой нуль-аллелей, которая достигала 0.31 (для Dbu93), а в среднем по всем локусам составляла 0.12–0.18. Причины появления нуль-аллелей – отсутствие амплификации одного из аллелей (когда праймер не отжигается вследствие изменения последовательности фланкирующих участков) или гомоплазия (когда гомозигота является в действительности гетерозиготой с двумя аллелями одного размера, но представленными разными последовательностями). Ещё одна возможная причина низкой гетерозиготности – эффект Валунда. Вследствие наличия планктонной личинки особи в популяции дрейссен могут происходить из разных мест, что влияет на генетическую структуру популяции и уменьшает гетерозиготность.

Значения показателя генетической дистанции  $F_{ST}$  между типичным и глубоководным экотипами были незначимыми и составляли -0.0045 и 0.0136 в оз. Мичиган и Чебоксарском вдхр., соответственно. Различия по распределению аллелей и фенотипов также не были статистически значимы. В целом, для вида *D. r. bugensis* характерно отсутствие генетической дифференциации даже между удалёнными популяциями вследствие большого количества планктонных личинок и множественных инвазий (Marescaux et al., 2016).

Таким образом, в настоящее время нет механизмов генетической изоляции между типичным и глубоководным экотипами *D. r. bugensis*, несмотря на экологические, морфологические и физиологические различия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-34-00640).

## ОСОБЕННОСТИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ В МЫШЦАХ И ОРГАНАХ ЛЕЩА ИЗ РАЗНЫХ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРЬКОВСКОГО, УГЛИЧСКОГО И ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ)

А. А. Паюта, Е. А. Флёрова

*Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса», 150517, Россия, Ярославская область, Ярославский район, пос. Михайловский, ул. Ленина, д. 1., a.payuta@mail.ru*

Целью исследования было изучение особенностей содержания продуктов обмена веществ в организме леща *Abramis brama* (L.) из Горьковского, Угличского и Иваньковского водохранилищ. Особей леща вылавливали в нагульный период тралом в ходе совместных экспедиций с ИБВВ РАН на стандартных станциях траления. В мышцах, печени и гонадах леща было проанализировано содержание общей влаги, сухого вещества, жира, белка, минеральных веществ (золы) и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). Всего было исследовано 189 особей леща.

На содержание продуктов обмена веществ в мышцах, печени и гонадах лещей влияет как совокупность различных факторов, характерная для каждого водохранилища (морфология водоема, кормовая база рыб, тепловое и антропогенное воздействие, дефицит кислорода), так и индивидуальные особенности особей (пол, возраст, стадия зрелости гонад). По общему количеству белка, золы и БЭВ в мышцах лещи из Горьковского водохранилища превосходили сородичей из других водоемов, по содержанию жира – лещи из Угличского водохранилища. В печени леща из Горьковского водохранилища содержалось наибольшее количество золы и БЭВ, из Угличского – жира и белка. В гонадах леща из Горьковского водохранилища содержалось больше жира, из Угличского водохранилища – белка. В семенниках леща из Угличского водохранилища выявлено наибольшее содержание золы и БЭВ; в яичниках леща из Горьковского водохранилища – БЭВ, из Иваньковского – золы.

Показатели обмена веществ в мышцах леща разного пола оказались близки. Несмотря на это мышцы самок характеризовались повышенным содержанием белка, самцов – БЭВ. В мышечной ткани неполовозрелых лещей интенсивно накапливались продукты белкового (Горьковское водохранилище) и углеводного (Угличское водохранилище) обмена. В печени леща из исследуемых водохранилищ половые различия были выражены схожим образом в минеральном обмене, в белковом обмене – у лещей из Горьковского и Угличского водохранилищ: показатель интенсивнее накапливался у самок. По содержанию жира семенники леща превосходили яичники, по количеству протеина – уступали.

При переходе гонад леща из II стадии зрелости в III в них возрастало количество общей воды, и сокращалась доля жира. В половых железах леща из Горьковского и Иваньковского водохранилищ увеличивалось содержание БЭВ, из Угличского – уменьшалось. В семенниках леща из Горьковского и Угличского водохранилищ увеличивалась доля белка и минеральных веществ, из Иваньковского – уменьшалась. В гонадах самок леща из Угличского и Иваньковского водохранилищ возрастало содержание белка, из Горьковского – сокращалось.

С возрастом в мышцах леща из Горьковского и Угличского водохранилищ увеличивалось содержание жира, белка и минеральных веществ. Высокие значения показателей обмена веществ наблюдались у особей старших возрастных групп в Горьковском и Угличском водохранилищах, в то время как в Иваньковском водохранилище – у пятилетних лещей, что может быть связано с условиями обитания особей (кормовой базой, тепловым воздействием). В печени леща большая часть продуктов обмена веществ накапливалась к семи-девяти годам. Возрастная динамика содержания белка в гонадах в зависимости от пола и условий обитания имела как восходящий, так и нисходящий тренд, но по сравнению с количественным изменением жира характеризовалась большей стабильностью.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере: № 1249ГС1/22771 «Старт-ЭКОТЕХ2016».*

## ОСОБЕННОСТИ ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ ЛИПИДНОГО МЕШКА ПЯТНИСТОГО ЛЕПТОКЛИНА *LEPTOCLINUS MACULATUS* В АРКТИКЕ

С. Н. Пеккоева, В. П. Воронин, З. А. Нефедова, J. Berge, S. Falk-Petersen,  
Н. Н. Немова, С. А. Мурзина

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»,  
185910, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, pek-svetlana@mail.ru

Арктические организмы отличаются высоким адаптационным потенциалом, во многом благодаря накоплению жизненно необходимых энергетических резервов. Пятнистый лептоклин *Leptoclinus maculatus* – представитель арктическо-бореальной ихтиофауны, является одним из ключевых промежуточных звеньев в трофических цепях арктических экосистем, его липидный и жирнокислотный профиль может отражать особенности перемещения веществ энергии по трофическим цепям в Арктике. В данной работе продолжены и расширены исследования уникального образования - липидного мешка молоди *Leptoclinus maculatus* из акватории арх. Шпицберген, который позволяет ей расти и развиваться в суровых арктических условиях. Липидный мешок характеризуется высоким содержанием запасных липидов - триацилглицеринов (ТАГ) (до 60% сухой массы) и мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) (до 73% суммы ЖК). В составе ТАГ мешка установлено высокое содержание 20:1(n-9) и 22:1(n-11) ЖК – до 28 и 29%, соответственно. Тогда, как показано ранее (Пеккоева и др., 2019), в мышцах их уровень ниже (до 25% и 22%). Биосинтез *de novo* 20:1(n-9) и 22:1(n-11) МНЖК является характерной чертой для зоопланктона рода *Calanus* (Mayzaud et al., 2015), которым питаются личинки рыб. Исследования последних лет указывают на высокую биологическую активность гидробионтов в арктических экосистемах в период полярной ночи, в том числе зоопланктона (Berge et al., 2015). Таким образом, показано, что молодь лептоклина продолжает находить зоопланктон и в полярную ночь, обеспечивая за счет питания достаточный для поддержания жизнедеятельности уровень липидов в липидном мешке. Показано, что значение индекса 22:1(n-11)/20:1(n-9) ЖК в липидном мешке молоди исследованных стадий развития (L3, L4, L4\*) составляет 1.0. При этом отмечена специфичность для разных классов липидов: для ЖК фосфолипидов (ФЛ) – 0.8–0.9, а в ТАГ – 1.0. Известно (Scott et al., 2002), что соотношение 22:1/20:1 жирных спиртов и ЖК в составе восков у арктических каланусов различается, в том числе у видов, доминирующих в акватории арх. Шпицберген. Полученные данные позволяют обсуждать преимущественное питание молоди лептоклина копеподами видов *Calanus glacialis* и *C. finmarchicus*. Установлено, что метаболический индекс 16:0/18:1(n-9) в ФЛ мешка был выше (2.4–2.8), по сравнению с таковым в ТАГ (1.6–1.7), что свидетельствует о преимущественном использовании МНЖК запасных липидов для получения необходимой энергии. В липидном мешке лептоклина от L3 к L4\* стадии развития показан рост индекса МНЖК/ПНЖК от 1.7 до 4.5 – в ФЛ и от 6.8 до 7.6 – в ТАГ, соответственно, что позволяет оценить изменения качества ненасыщенности липидов в процессе развития рыбы. Использование соотношений ЖК в одномерном и многомерном анализе трофических маркеров ЖК морских пелагических экосистем рассматривается как новый подход в оценке трофических отношений взаимосвязанных организмов (Graeve, Greenacre, 2020). Анализ индексов ЖК (22:1/20:1, МНЖК/ПНЖК, 16:0/18:1(n-9) и др.) отражает адаптационные особенности лептоклина, в частности на уровне липидов в липидном мешке в процессе роста и развития молоди в Арктике и рассматривается в исследовании в онтогенетическом и сезонном аспектах. Биохимический анализ проведен на базе лаборатории экологической биохимии с использованием оборудования ЦКП ФИЦ «Карельский научный центр РАН».

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0218-2019-0076, при финансовой поддержке Гранта Президента МК-2188.2020.4.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПО МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Ю. С. Решетников

*Институт проблем эволюции и экологии им. А. Н. Северцова РАН,  
119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 33, ysreshetnikov@gmail.com*

В связи с усилением влияния хозяйственной деятельности человека на наземные и пресноводные экосистемы насущной проблемой становится оценка состояния сообществ водных экосистем, в том числе и состояние рыбного населения. Во многих пресноводных экосистемах наблюдаются сукцессионные изменения в структуре рыбного населения. Особую тревогу вызывает состояние водоемов в промышленных зонах, где кумулятивный эффект всех видов загрязнений наиболее велик. Здесь наблюдаются большие сукцессионные изменения водных экосистем вплоть до полного уничтожения многих живых существ.

Был предложен метод экспертной оценки на основании паталого-анатомических и экологических показателей с использованием индекса неблагоприятного состояния (ИНС). На основании ИНС выявлены 3 зоны в районе комбината «Североникель»: зона относительного экологического благополучия, зона экологического бедствия и зона экологического кризиса. Работами последних лет показано, что наилучшие результаты получаются при комплексном использовании его с методами гистологического анализа. Основными «воротами» попадания в организм рыбы вредных веществ и местами их накопления являются системы: дыхательная (жабры), пищеварительная (желудочно-кишечный тракт, печень и желчный пузырь), выделительная (почки) и воспроизводительная (гонады). Как показали исследования, в первую очередь при сильном загрязнении страдают жабры, печень и почки. Было мнение, что в последнюю очередь страдает воспроизводительная система рыб, но новые исследования выявили, что изменения в системе воспроизводства начинаются практически одновременно с изменениями в других органах. В последние годы большое значение получают исследования на тканевом и клеточном уровнях, а также в работу активно включились биохимики, изучая изменения на уровне белков, липидов и ферментов.

Поиски в последние годы сравнительно «чистых водоемов», которые можно было бы принять за единицу отсчета, показали, что таких водоемов в природе не обнаружено. Отметим, что на протяжении многовековой истории эволюции рыбы неоднократно встречались с резкими химическими изменениями в экосистемах (извержение вулканов, горообразование, ледники и т.п.), просто за последнее столетие эти процессы резко увеличили свои темпы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 98-04-49232, 01-04-48163, 01-04-62039, 04-04-49199).*

## РАЗВИТИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

И. И. Руднева<sup>1</sup>, И. Н. Залевская<sup>2</sup>, В. Г. Шайда<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН,  
299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2, [svg-41@mail.ru](mailto:svg-41@mail.ru);

<sup>2</sup>Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского,  
295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь,  
проспект Академика Вернадского, 4, [inz3@mail.ru](mailto:inz3@mail.ru)

Жизнь всех аэробных организмов постоянно сопровождается процессами образования свободных радикалов (СРО) – высокоактивных соединений, играющих важную роль в ключевых метаболических реакциях организма, таких как синтез простагландинов, участие в реакциях фагоцитоза, обеспечение репродукции. Однако при избыточном образовании они способны наносить вред, что выражается в повреждении клеточных мембран, биомолекул и развитии различных патологий. Для защиты живых организмов от дефектов, вызванных атакой свободных радикалов, существует антиоксидантная система, включающая низкомолекулярные антиоксиданты (витамины, глутатион, некоторые гормоны) и ферменты, нейтрализующие продукты СРО. Между этими процессами существует баланс, обеспечивающий нормальное функционирование организма и его адаптационные реакции в случае изменений в среде обитания, которые могут быть вызваны как естественными природными факторами, так и антропогенной деятельностью. Природные флуктуации могут носить глобальный (изменение климата) и локальный (свойственный для данного региона) характер. Глобальные климатические изменения существенно изменяют метаболизм морских обитателей. Увеличение среднегодовой температуры, солнечной радиации и особенно ультрафиолетового излучения приводят к окислительному стрессу, в результате чего происходит усиление процессов СРО и появление токсичных продуктов перекисного окисления белков и липидов и их накопление в органах и тканях с последующим развитием токсических и патологических эффектов. Вместе с тем эндогенные (возраст, пол, репродуктивный цикл) и экзогенные факторы (сезонные изменения среды обитания, обусловленные совокупностью абиотических и биотических факторов, наличие патогенов и паразитов) также сдвигают оксидантно-антиоксидантный баланс гидробионтов. В настоящее время антропогенная деятельность в водных экосистемах является мощным стрессором, модифицирующим как экосистемы в целом, так и метаболизм обитающих в них организмов. В этом случае окислительный стресс, вызванный попаданием в морскую среду химических загрязнителей, в том числе «новых», к которым относятся пластик и фармпрепараты, избыток тепла от энергетических объектов, расположенных на судах и прибрежных предприятиях, физические поля, действие которых на морскую биоту пока остается малоизученным, несмотря на расширение их использования человеком как в прибрежной инфраструктуре, так и на морском транспорте, нефтяных вышках, является характерным следствием этих воздействий. В связи с этим применение параметров окислительного стресса в качестве биомаркеров состояния водных организмов и среды их обитания имеет важное значение и используется в мировом масштабе. Вместе с тем перспективным является как поиск новых биомаркеров, изучение механизмов откликов оксидантно-антиоксидантной системы на разные воздействия и их комплекс, так и анализ адаптационной роли баланса в поддержании гомеостаза гидробионтов и их приспособленности к условиям среды обитания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-44-920007).*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КРОВЕТВОРЕНИЯ ЛИЧИНОК КОСТИСТЫХ РЫБ И ЗЕМНОВОДНЫХ

Д. Р. Светашева, М. П. Грушко

ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

ФГБУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,

414004, Россия, г. Астрахань, ул. С. Перовской, 77, кв. 33, svetashvadr@yandex.ru

В результате исследований был проведен сравнительный анализ качественного и количественного состава развивающихся форменных элементов крови в основных органах кроветворения личинок жабы обыкновенной (*Bufo viridis* L.) из городского водоема и личинок леща (*Abramis brama* L.) из выростного нерестового хозяйства.

Гистологический анализ выявил значительные различия и некоторое сходство в процессах кроветворения исследуемых объектов. Анализ проведенных исследований туловищной почки личинок леща и жабы показал, что в онтогенезе этих организмов происходят значительные морфофункциональные изменения данного органа. Сравнительный анализ характеристик кроветворной функции мезонефроса личинок жабы и леща показал, что в ретикулярной межканальцевой ткани туловищных почек шел процесс формирования лейкоцитов и эритроцитов, при этом эритропоэз преобладал и у личинок жабы, и у личинок леща. При сравнении гемопозитической функции селезенки личинок жабы и костистых рыб отмечено, что у первых этот орган специализируется на производстве белой крови и характеризуется как орган агрануло- и гранулоцитопоэза, хотя в органе и присутствует эритропоэз, но доля его намного меньше. У личинок костистых рыб, в отличие от личинок жаб, в этот период преобладает эритроидное и гранулоцитопоэтическое кроветворение. Намного реже встречались клетки лимфоидного ряда. Постепенно в строме органа выделялась белая и красная пульпа, однако четких границ перехода у исследуемых объектов не обнаружено даже на поздних стадиях развития личинок. Тимус личинок формируется как плотное скопление мезенхимной ткани в виде впячивания в полость жаберного кармана. Из проведенного исследования можно сделать вывод о том, что тимус мальков леща обыкновенного выполняет функцию лимфоцитопоэза и гранулоцитопоэза, а тимус головастика жабы обыкновенной функционирует как орган кроветворения на поздних стадиях развития и является органом исключительно лимфоцитопоэза. Основания жаберных филламентов леща являются органом активного гемопоза, при этом в жабрах развиваются клетки только белой крови, преимущественно клетки лимфоцитопоэтического ряда, а в жабрах головастика жаб признаков гемопоза не обнаружено. Помимо указанных органов кроветворения, на поздних стадиях развития у личинок жабы обыкновенной, в полостях бедренных костей формируется красный костный мозг, в котором происходит образование и пролиферация молодых бластных лимфоцитопоэтических клеток. Собственная пластинка слизистой оболочки кишечника у личинок леща начинает выполнять функцию кроветворения на 19-е сут. после вылупления, вместе с переходом на активное питание. В этот период здесь осуществляется грануло- и агранулоцитопоэз и, в меньшей степени, – эритроцитопоэз. У личинок жаб на ранних стадиях развития в гемопозитических образованиях кишечника формируются клетки крови всех рядов, на поздних стадиях преобладает эритроцитопоэз. Печень у предличинки леща закладывается в 1-е сут. после вылупления. Однако признаков кроветворения в печени не обнаруживается на протяжении всего периода развития. Печень личинок жабы также закладывается на ранних стадиях, и в этот период развития организма является универсальным органом кроветворения, при этом доминирует гранулоцитопоэз. Сравнительный анализ гемопоза у личинок костистых рыб и земноводных показал, что у рыб основными органами эритропоэза являются почки и селезенка, у жаб – почки и кишечник. В то время как клетки белой крови в большинстве у рыб формируются в кишечнике, жабрах и тимусе, у жаб – в селезенке, печени, тимусе и красном костном мозге.

## ОСАДОЧНЫЕ ПИГМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕНТАЛИ В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ

Л. Е. Сигарева<sup>1</sup>, Н. А. Тимофеева<sup>1</sup>, Т. Г. Коренева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН,

152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, sigareva@ibiw.ru;

<sup>2</sup>Сахалинский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии»,

693023, Россия, г. Южно-Сахалинск, Комсомольская, 196

Трофическое состояние – важнейший показатель функционирования водной экосистемы, который должен оцениваться по первичной продукции органического вещества, прежде всего, в пелагиали. В то же время существенную роль в структурно-функциональной организации пресноводных экосистем выполняет бенталь, т.к. относительно небольшие глубины и вертикальное перемешивание водных масс обуславливают тесное взаимодействие водного и донного ярусов. Закономерные зависимости между продукционными характеристиками пелагиали и бентали – основа восстановления истории водоема по показателям донных отложений. Однако характер связи между индикаторами продуктивности водного и донного ярусов экосистем может быть неоднозначным. Актуальность работ по изучению закономерностей формирования трофии бентосной подсистемы обусловлена тем, что до настоящего времени не разработаны универсальные трофические шкалы для бентали, которые могли бы использоваться в изучении эволюции водоема.

Среди показателей продуктивности водоемов уникальное место занимает повсеместно распространенный хлорофилл *a* – основной пигмент фотосинтетического аппарата низших и высших растений, который в эвфотической зоне количественно связан с биомассой, интенсивностью максимального фотосинтеза и в целом с первичной продукцией органического вещества. В афотической зоне хлорофилл находится в основном в виде продуктов деградации (феопигментов) – маркеров деструкционных процессов. Цель работы – выявить особенности формирования фонда растительных пигментов в донных отложениях на примере изучения пространственно-временного распределения осадочного хлорофилла *a* (и феопигментов) в разнотипных по трофическому состоянию водоемах.

В настоящем сообщении обобщены полевые материалы, собранные с 1996 по 2018 годы. Работа проводилась по следующим направлениям: трофическое состояние бентали, многолетний мониторинг осадочного хлорофилла, эвтрофирование. Оценено трофическое состояние бентали в водохранилищах волжского каскада (Иваньковском, Угличском, Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском, Куйбышевском, Саратовском, Волгоградском), малой реке Ильд, впадающей в Рыбинское водохранилище, Цимлянском водохранилище на р. Дон, Влоцлавском водохранилище на р. Висле, озерах Ярославской области – Плещеево и Неро, а также водоемах и водотоках Вьетнама и заливе Анива в Охотском море.

Показано, что межгодовая динамика содержания осадочного хлорофилла в озеровидном Рыбинском водохранилище имеет вид периодических подъемов и спадов, которые согласуются с динамикой хлорофилла *a* в водной толще и солнечной активностью. Установлен тренд увеличения концентрации пигмента в отложениях от начала создания водохранилища до настоящего времени на основе исследования кернов, возраст которых соответствует времени существования водохранилища. Мониторинг также показал, что межгодовая и пространственная динамика растительных пигментов в донных отложениях сохраняет свойственную водоему специфичность из-за относительно высокой консервативности структуры грунтового комплекса и водно-физических свойств донных отложений. Зависимость между пелагической и донной подсистемами подтверждена тесной связью содержания пигментов в планктоне и поверхностном слое илов. Цикличность содержания осадочных пигментов в многолетнем аспекте дает основание считать, что водные экосистемы функционируют в целом устойчиво, несмотря на изменения климата.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-04-00384).*

## МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕСКИ ИЗ МОРИСТЫХ И ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ОХОТСКОГО МОРЯ

А. А. Смирнов<sup>1,2</sup>, А. Н. Строганов<sup>3</sup>, С. В. Клинушкин<sup>4</sup>, А. В. Семенова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), 107140, Россия, г. Москва, ул. В. Красносельская, 17;

<sup>2</sup>Северо-Восточный государственный университет, 685000, Россия, г. Магадан, ул. Портовая, 13, andrsmir@mail.ru;

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, 119234, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1. к. 12, МГУ, andrei\_str@mail.ru;

<sup>4</sup>Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), 685000, Россия, г. Магадан, ул. Портовая, 36/10, sergeikazan78@mail.ru

Проводили сравнение морфологических и экологических характеристик тихоокеанской трески из мористых (Охотское море, северо-восток, декабрь 2014 г. 57°53'с.ш.; 151°37'в.д., n=16) и прибрежных (Охотское море, север, Тауйская губа, апрель 2012 г., n=39) акваторий Охотского моря.

Произведенная оценка достоверности (критерий Стьюдента) различий морфометрических индексов между выборками тихоокеанской трески из прибрежных и мористых акваторий выявила отличия на достоверном уровне ( $p < 0.05$ ) между значениями индексов межглазничного расстояния (io/c) и длины рыла (ao/c), что соответствует представлениям А.Н. Световидова (1948) о большей ширине головы особей из прибрежных группировок. За счет расширения головы обеспечивается увеличение ротового отверстия, что эффективно при реализации стратегии рыб-охотников скрадывающего, выслеживающего типа (пастбищная стратегия). Это полезно именно в условиях прибрежного образа жизни с низкими скоростями плавания.

Самый высокий уровень отличий между группировками тихоокеанской трески мористых и прибрежных акваторий демонстрировал индекс длины подбородочного усика (sig/c). Специализированные структуры: подбородочный усик, свободные лучи брюшных плавников, являющиеся хорошо развитыми полисенсорными органами, воспринимающими тактильные и различного рода химические стимулы, используются треской для точной локализации жертвы и организации эффективного питания, в том числе, некрупными малоподвижными бентосными объектами. Более мощное развитие подбородочного усика повышает эффективность питания среди зарослей макрофитов в придонных условиях.

Таким образом, тихоокеанская треска демонстрирует хорошую приспособленность к обеспечению эффективного питания как в условиях открытых мористых акваторий, так и в прибрежье, что обеспечивается, в том числе, изменчивостью морфологических характеристик.

Необходимо отметить, что представленные материалы являются частью комплексных исследований тихоокеанской трески, в ходе которых проведен также анализ популяционно-генетической изменчивости на основе полиморфизма микросателлитных локусов ДНК в выборках тихоокеанской трески из различных районов северной части Тихого океана. Показано, что незначимы величины межрегиональной дифференциации между выборками трески Охотского моря, выборками Западной части Берингова моря. При этом треска южно-курильского региона на генетическом уровне достоверно дифференцировалась от других популяций ( $\theta = 4.34$  при 95%-ном доверительном бутстреп\_интервале 0.58; 15.33).

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-05-00317, 19-04-00244).*

# КИСЛОРОДНЫЕ РЕЖИМЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ СТЕНО- И ЭВРИГАЛИННЫХ МОРСКИХ РЫБ В УСЛОВИЯХ ГИПООСМОТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

А. А. Солдатов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»,  
299011, Россия, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2, [alekssoldatov@yandex.ru](mailto:alekssoldatov@yandex.ru)

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет  
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Исследовали в условиях эксперимента влияние гипоосмотических условий среды на кислородный режим скелетных мышц стеногалянного бычка-кругляша (*Gobius cobitis*, Pallas 1814). Контрольная группа рыб содержалась при 12–14‰, опытная — при 4.8–5.6‰. Длительность эксперимента — 44–45 суток, температура воды — 15±1°C, фотопериод — 12 день/12 ночь. Установлено, что в условиях внешней гипоосмии происходила гидратация скелетных мышц бычка-кругляша и снижение их диффузионной способности по отношению к кислороду на 30.7% ( $p < 0.001$ ). Последнее сопровождалось уменьшением тканевого  $PO_2$ , о чем свидетельствовали низкие значения  $PO_2$  в венозной крови, оттекающей от мышц. Изменения отмечали уже на 1–5 сутки эксперимента. Реакций, направленных на восстановление исходных значений, не наблюдали. Негативным следствием гипоосмии являлось ограничение величин массопереноса и утилизации кислорода в скелетных мышцах кругляша в первые 14–16 суток эксперимента. Это был самостоятельный процесс, который не сказывался на диффузионных характеристиках мышечной ткани. В основе его лежало снижение объемного тканевого кровотока, величины которого восстанавливались к концу эксперимента и нормализовали транспорт и потребление кислорода в скелетных мышцах. Причины снижения объемного кровотока, по-видимому, следует искать в гидратации плазмы крови и, как следствие, росте объема циркулирующей крови. Это усиливало нагрузку на сердечную мышцу и снижало ее производительность. На фоне гидратации плазмы крови отмечали и снижение числа циркулирующих эритроцитов. Эта реакция развивалась в начальный момент адаптационного процесса (1–5 сутки). Количество клеток красной крови в кровяном русле снижалось на 25.0% ( $p < 0.001$ ), а затем к концу эксперимента (44–45 суток) полностью восстанавливалось.

В условиях эксперимента *in vivo* исследовано также влияние гипоосмотической нагрузки на кровь двух видов морских рыб, отличающихся толерантностью к фактору солености. Объектами исследования служили черноморские бычки: *Gobius cobitis* (Pallas, 1814) — обнаруживается в прибрежных акваториях, лагунах устьях рек и *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) — встречается в морских и пресных водоемах. Контрольные группы рыб содержали при 12–14‰. Опытные группы рыб находились в течение 44–45 суток при 4.8–5.6‰. Температура воды поддерживалась на уровне 15±1°C. Отбор проб крови осуществлялся на 1–5, 14–16 и 44–45 сутки эксперимента. Оценивали содержание воды в крови, эритроцитарные индексы, активность  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФазы и баланс  $Na^+$  и  $K^+$  на мембране эритроцита. В условиях гипоосмотической нагрузки *G. cobitis* не проявлял признаков активной осморегуляции. Содержание воды в крови в ходе эксперимента повышалось на 9.5–14.2% ( $p < 0.001$ ) и сохранялось на данном уровне в течение всего периода наблюдений. Это происходило на фоне свеллинга и лизиса части эритроцитарной массы. Одновременно происходила диссипация ионных градиентов на уровне клеток красной крови и снижение активности  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФазы. *N. melanostomus*, напротив, компенсировал начальное (1–5 сутки) повышение содержания воды в крови. У него не наблюдали признаков свеллинга и лизиса клеток красной крови. При этом эритроциты проявляли признаки активной осморегуляции. При гидратации плазмы крови у них отмечался направленный выход  $K^+$  при сохранении содержания  $Na^+$  в клетке. В сравнении с *G. cobitis* препараты эритроцитарных мембран *N. melanostomus* отличались повышенной активностью  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФазы. Эти качества, по-видимому, позволяют данному виду переносить достаточно широкий диапазон колебания солености среды и лежат в основе его эвригалинности.

Работа выполнена в рамках государственной темы АААА-А18-118021490093-4 и при частичной поддержке проекта РФФИ № 20-44-920001.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА pH ОПТИМУМОВ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ pH ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СИГОВЫХ РЫБ

М. М. Соловьев<sup>1</sup>, Н. С. Пустовалова<sup>1</sup>, Е. Н. Кашинская<sup>1</sup>, Э. Жизберт<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11;

<sup>2</sup>Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias,  
43540, San Carlos de la Rapita, Spain, yarmak85@mail.ru

Основная цель данного исследования – определение pH оптимумов кислых и щелочных протеаз в пищеварительном тракте некоторых видов сиговых рыб. Жаберными сетями в озере Телецкое были отловлены сиг Правдина *Coregonus lavaretus pravdinellus* (SL 130–145 мм) и телецкий сиг *C. l. pidschian* (SL 150–179 мм); Байкальский омуль *C. migratorius* (SL 260–350 мм) был отловлен в озере Байкал; пелядь *C. peled* (SL 260–350 мм), сиг-пыжьян *C. lavaretus* (SL 200–250 мм) и чир *C. nasus* (SL 350–450 мм) были отловлены в нижнем течении реки Колыма (пос. Походск). Размер выборки составил по 5 экземпляров для каждого вида рыб.

Для определения pH оптимума кислых протеаз желудка (преимущественно пепсин) были использованы следующие буферные системы: глицин-HCl для диапазона pH 1.5–3.5, ацетатный буфер для диапазона pH 4.0–5.0 и фосфатный буфер для диапазона pH 6.0–7.0. Для определения pH оптимумов основных протеаз кишечника (трипсин и химотрипсин) в диапазоне pH 6.5–7.0, 7.5–9.0 и 9.5–10.5 были использованы фосфатный, трис-HCl и глицин-NaOH буферы, соответственно. Все измерения проведены в трех методологических повторностях. Физиологические значения pH в желудке и кишечнике исследуемых видов рыб определены с помощью pH микроэлектрода (HI 1083B, Hanna instruments).

Оптимум pH активности пепсина для сига-пыжьяна, чира и пеляди (река Колыма) находился в диапазоне значений pH 1.5–3.0, 2.0–3.5 и 2.0–3.5 соответственно. Для Байкальского омуля (озеро Байкал), также как для сига Правдина и телецкого сига (озеро Телецкое) pH оптимум активности пепсина был отмечен в диапазоне pH 2.0–3.5. При значениях pH выше 4.5–5.0 активность трипсина была минимальной или не регистрировалась для всех исследуемых видов рыб.

Оптимум pH активности трипсина для всех сиговых из реки Колыма находился в диапазоне pH 7.5–9.5. Для Байкальского омуля и обоих сигов из озера Телецкое pH оптимум лежал в диапазоне значений 8.5–10.5 и 7.5–10.5, соответственно. Оптимум pH активности химотрипсина для всех сиговых из реки Колыма находился в диапазоне pH 7.0–9.0. Для Байкальского омуля и обоих сигов из озера Телецкое pH оптимум лежал в диапазоне значений 8.0–9.0 и 8.0–8.5, соответственно.

Физиологические значения pH в желудке у сигов озера Телецкое варьировали в диапазоне 2.22–7.72, у Байкальского омуля — 2.22–7.97 и у сига-пыжьяна, чира и пеляди из реки Колыма — 2.12–7.10, 2.17–6.94 и 4.34–7.0 соответственно. Физиологические значения pH в кишечнике у сигов озера Телецкое варьировали в диапазоне 6.76–7.78, у Байкальского омуля — 6.44–8.63 и у сига-пыжьяна, чира и пеляди из реки Колыма — 6.36–8.32, 6.20–7.59 и 7.04–7.79 соответственно. Таким образом, оптимумы pH активности исследованных ферментов соотносятся с диапазоном физиологических значений pH в соответствующем отделе пищеварительного тракта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-74-10054).

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СОДЕРЖАНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS***

**М. М. Соловьев<sup>1</sup>, Н. С. Пустовалова<sup>1</sup>, Е. Н. Кашинская<sup>1</sup>, Е. П. Симонов<sup>1,2</sup>, Э. Жизберт<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт систематики и экологии животных СОРАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11;*

<sup>2</sup>*Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6;*

<sup>3</sup>*Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA),  
43540, San Carlos de la Rapita, Spain, yarmak85@mail.ru*

Основная цель данного исследования – определение влияния температуры содержания радужной форели на некоторые показатели пищеварительной системы в условиях эксперимента. Двести особей радужной форели содержались в двенадцати кубических пластиковых контейнерах объемом 2000 литров каждый (IRTA, Испания). Перед началом эксперимента рыбы были разделены на две группы и содержались в течение 20 дней при температуре 13°C и 20°C соответственно. Рыб кормили два раза в день. В конце эксперимента, перед непосредственным отбором образцов, рыб не кормили в течение 72 часов для исключения влияния остатков корма в пищеварительном тракте после прошлого кормления на исследуемые параметры. Далее рыб покормили один раз и через 2, 5, 9, 13, 18, 26, 36, 48, 60, 84, 96, 120 ч проводили вскрытие и сбор образцов. У рыб были определены физиологические значения рН пищеварительного тракта, активность, рН и температурные оптимумы пищеварительных ферментов в желудке (пепсин) и кишечнике (трипсин, химотрипсин, липаза и амилаза) при стандартных (рН соответственно протоколу, 25°C) и действительных (физиологические значения рН, температура содержания – 13 и 20°C) значениях рН и температуры, уровень экспрессии генов (*microarray*) в пищеварительном тракте, состав микробных сообществ (V3-V4, 16S рНК), а также элементный состав желчи. Физиологические значения рН в желудке и кишечнике исследуемых видов рыб определены с помощью рН микроэлектрода (HI 1083В, Hanna instruments). Нами было обнаружено достоверное влияние времени после начала кормления на изменение уровня активности пищеварительных ферментов, концентрацию некоторых элементов в желчи, а также значений рН как в желудке, так и в кишечнике при обеих температурах содержания. Были выявлены изменения в концентрациях отдельных элементов в желчи и в уровнях экспрессии более чем у 500 различных генов в кишечнике форелей в зависимости от температуры содержания. Температура содержания не оказала достоверно значимого влияния на рН и температурные оптимумы пищеварительных ферментов, а также на состав симбиотной микробиоты кишечника.

## **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕННОСТИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА НА АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЧИ У РЫБ С РАЗНЫМ ТИПОМ ПИТАНИЯ**

**М. М. Соловьев, Н. С. Пустовалова, В. А. Василенко, Е. Н. Кашинская**

*Институт систематики и экологии животных СО РАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11, yarmak85@mail.ru*

Основная цель данного исследования – определение влияния наполненности пищеварительного тракта на активность ключевых групп пищеварительных ферментов и элементный состав желчи окуня, серебряного карася, золотого карася и язя.

Рыб отлавливали жаберными сетями в июле 2019 года в озере Фадиха (бассейн озера Чаны, Новосибирская область). Живых рыб в контейнерах с водой с места лова доставляли в лабораторию Чановского стационара. В лаборатории извлекали пищеварительный тракт, оценивали степень наполненности желудка (окунь), переднего и заднего отдела (окунь, язь, серебряный карась, золотой карась) по пятибальной шкале согласно руководству Правдина (1966). Согласно степени наполненности пищеварительного тракта все особи были разделены на три группы: пустые (содержимое отсутствует), средние (2–3 балла по шкале наполненности) и полные (4–5 баллов по шкале наполненности). После определения степени наполненности от тех же особей собирали и немедленно замораживали в жидком азоте слизистую, смыв со слизистой и содержимое желудка и отделов кишечника, а также желчь для дальнейшего анализа. Смывы с различных отделов пищеварительного тракта делали 0.9% физиологическим раствором хлорида натрия после излечения содержимого. В образцах слизистой, смывов со слизистой и содержимом спектрофотометрически были определены активности пепсина (желудок), трипсина, химотрипсина, карбоксипептидазы А, липазы, амилазы (панкреатические ферменты в кишечнике), щелочной фосфатазы, аминопептидазы и мальтазы (пристеночные ферменты в кишечнике). Определение содержания элементов в лиофилизированных образцах желчи проводили с помощью эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) iCAP 6300 Duo (ThermoScientific, Великобритания).

По результатам исследований степень наполненности кишечника была достоверно значимым фактором (ANOVA,  $p \leq 0.05$ ) для уровня активности пищеварительных ферментов как для слизистой и смывов со слизистой, так и для содержимого. Наибольший уровень активности большинства пищеварительных ферментов отмечен в содержимом соответствующего отдела пищеварительного тракта. Наибольшая концентрация в желчи для всех исследованных видов рыб была отмечена для натрия (33000–50000 мк/кг), серы (9000–58000 мк/кг), кальция (1800–3200 мк/кг), калия (1600–4800 мк/кг). Кроме того, с относительно высокой концентрацией можно отметить такие элементы, как железо, медь, магний, фосфор и стронций. Для кальция, меди, калия и фосфора наблюдалась тенденция к увеличению концентрации с ростом наполненности кишечника у исследованных видов рыб.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-34-20122).*

# ВЛИЯНИЕ ЧУЖЕРОДНОЙ ЦИТОПЛАЗМЫ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ У БЭККРОССОВ ПРИ ГИБРИДИЗАЦИИ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* И ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA*

**В. В. Столбунова, В. В. Павлова, Ю. В. Кодухова**

*Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, vvsto@mail.ru*

Наряду с ядерными генами цитоплазма является дополнительным источником генотипического разнообразия гибридных популяций и играет значительную роль в детерминации свойств устойчивости. Гены митохондрий, не защищенные белковым футляром, мутируют в 10 раз чаще, чем ядерные гены. При этом могут возникать как адаптивные полиморфизмы, специфичные для региона (Wallace, 2007), так и мутации, которые лежат в основе тяжелых заболеваний, снижающих приспособленность особей. Для нивелирования отрицательных последствий некоторых мутаций в ядерном геноме возникают компенсаторные замены, что, в свою очередь, ведет к увеличению разнообразия ядерных генов. Дивергировавшие геномы плотвы (*Rutilus rutilus* L.) и леща (*Abramis brama* L.) потенциально предрасположены к нарушению скоординированного ядерно-цитоплазматического взаимодействия, поскольку различаются по скорости накопления нуклеотидных замен в мтДНК. Экспериментальные данные показывают снижение жизнеспособности аллоплазматических бэкриссов, сочетающих ядерный геном *A. brama* и мтДНК *R. rutilus* и высокую жизнеспособность бэкриссов с мтДНК *A. brama* (Николюкин, 1964; Столбунова, 2017). В потомстве межгибридного скрещивания выявлен значительный дефицит промежуточных гибридных генотипов, сопровождающийся избытком обоих типов гомозигот, что показано также при скрещивании между двумя видами ирисов *Iris fulva* и *I. brevicaulis* (Burke et al., 2001). Полученные данные свидетельствуют о нарушении ядерно-ядерных (эпистатических) и ядерно-цитоплазматических взаимодействий у бэкриссов и о наличии межгеномного конфликта.

В настоящей работе изучена роль межгеномного конфликта в качестве движущей силы изменчивости признаков у бэкриссов. Сравнительный анализ комплекса морфологических признаков и генотипирование (ITS1 рДНК, цитохром *b* мтДНК) проведены у сеголетков бэкриссов, которые получены при скрещивании реципрокных гибридных F1 самок первого поколения (RA, AR) с самцами плотвы (R) и леща (A).

Увеличение разнообразия отмечено во всех потомствах бэкриссов, что обусловлено полигенной природой количественных признаков с аддитивным характером их взаимодействия, выявлением скрытого разнообразия видов в процессе разложения гетерозигот и рекомбинацией. Независимо от совместимости геномов, в скрещиваниях с наличием межгеномного конфликта установлено нарушение ассоциаций между признаками и формирование трансгрессивных фенотипов, выходящих за рамки родительских популяций. Низкая совместимость геномов у бэкриссов с мтДНК *R. rutilus* и ядерным геномом *A. brama* проявляется в отсутствии восстановления внешних признаков родительского вида, что свидетельствует о неустойчивом развитии гибридов при включении чужеродного генетического материала. Также в исследовании получены убедительные указания на наследственное значение цитоплазматических генов в отношении такого важного признака, как длина тела. Учитывая известные данные по уровню разнообразия генов цитохромов *b* и *c*- оксидазы мтДНК *R. rutilus* и *A. brama* (Луданный, 2008; Hayden et al., 2011), можно отметить, что относительно успешные бэкриссы формируются в направлении интрогрессии менее полиморфного из двух родительских геномов, т.е. мтДНК *A. brama*.

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОПОЗВОНКОВОЙ СЕЛЬДИ В АКВАТОРИЯХ ТИХОГО ОКЕАНА

А. Н. Строганов<sup>1</sup>, А. А. Смирнов<sup>2,3</sup>, А. В. Семенова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, 119234, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1. к. 12, andrei\_str@mail.ru;*

<sup>2</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 107140, Россия, г. Москва, ул. В. Красносельская, 17;*

<sup>3</sup> *Северо-Восточный государственный университет, 685000, Россия, г. Магадан, ул. Портовая, 13, andrsmir@mail.ru*

Современный ареал малопозвонковой сельди распространяется на акватории арктической, бореальной и субтропической зоогеографических зон, охватывая как мористые, так и прибрежные акватории.

Эколого-биологическая характеристика группировок малопозвонковой сельди дает перспективные результаты исследования современных особенностей адаптационных процессов в популяциях, особенностей освоений акваторий различных регионов, специфики и механизмов процессов формообразования. Используемые нами выборки тихоокеанской малопозвонковой сельди занимают три зоогеографические зоны: арктическую, бореальную, субтропическую, кардинально отличающиеся температурными условиями. Часть выборок получено в мористых акваториях, а часть из прибрежных акваторий, то есть рассмотрены группировки, отличающиеся уровнем миграционной активности.

Темп роста в выборках субтропической зоны был выше этого показателя в выборках из арктической зоны. При этом наиболее высокий темп роста отмечен в бореальной зоне, что согласуется с представлениями о наиболее высоких показателях роста при оптимальных значениях температурного фактора. Результаты проведенных исследований показали, что условия обитания и нереста сельди из различных акваторий отличаются. Так, Тауйская губа Охотского моря характеризуется отрицательными температурами вод в весенний период. Желтое море лежит на границе субтропической зоны и характеризуется высокими летними температурами, особенно в мелководной прибрежной зоне. Наиболее высокий темп роста сельди отмечен в бореальной зоне, что согласуется с представлениями о наиболее высоких показателях роста при оптимальных значениях температурного фактора. Высокие значения индексов антедорсального расстояния и антеанального расстояния, в основном, характерны для выборок мористых акваторий, что соответствовало положениям о том, что смещение спинного и анального плавников в каудальную область способствует поддержанию более высоких крейсерских скоростей. Индекс межглазничного расстояния наиболее высокое значение демонстрировал для выборки сельди из прибрежья Охотского моря (Тауйская губа), что характерно для обитателей прибрежных акваторий с меньшим уровнем миграционной активности.

Морфо-биологическая дифференциация, как одна из составляющих внутривидовой структурированности, в большей степени формируется под давлением факторов среды. Другая сторона формообразовательного процесса связана с дифференциацией на генетическом уровне. Проведенные исследования полиморфизма микросателлитных локусов ДНК продемонстрировали относительно недавнее формирование современного обширного ареала малопозвонковой сельди: показан высокий уровень генетической идентичности выборок малопозвонковой сельди Белого и Охотского морей ( $I=0,980-0,989$ ), демонстрирующих абсолютный уровень географической изоляции и невозможность формирования устойчивого потока генной миграции.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-016-00033, 19-04-00244).*

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ВЬЕТНАМА

Н. А. Тимофеева, Л. Е. Сигарева, В. А. Гусаков, В. В. Законнов

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, timof@ibiw.ru*

В условиях современных климатических изменений актуально изучение влияния абиотических условий на продуктивность растительных сообществ разных природных зон, особенно водоемов тропических областей, характеризующихся максимальными значениями солнечной радиации и температуры воздуха. Сведения о продуктивности водных экосистем могут быть получены на основе растительных пигментов в донных отложениях (ДО), поскольку содержание осадочных пигментов коррелирует с первичной продукцией и показателями обилия фитопланктона, а также с концентрациями органического вещества (ОВ), общего азота и фосфора в ДО. Цель работы — выявление особенностей накопления и факторов распределения растительных пигментов в ДО водных экосистем тропиков на примере внутренних водоемов Вьетнама.

Материал собирали в сухой сезон с 27 февраля по 11 мая 2014 г. в 36 водных объектах 4-х провинций (Кханьхоа, Биньтхуан, Даклак, Ламдонг) Центрального и Южного Вьетнама. Район наблюдений расположен в зоне субэкваториального или тропического муссонного климата. Пробы верхнего 5-сантиметрового слоя ДО отбирали с помощью микробентометра С-1. Концентрацию хлорофилла *a* (Хл) и продуктов его деградации — феопигментов (Ф) — определяли спектрофотометрическим методом, содержание ОВ в ДО — по уменьшению массы грунта при прокаливании при 600°C, другие характеристики грунтов — традиционными методами, минерализацию, температуру, pH, содержание O<sub>2</sub> в воде — с помощью мультипараметрического анализатора HANNA Instruments HI 9828. В качестве показателя трофического состояния использовали суммарную концентрацию Хл+Ф в ДО.

Исследовали реки, пруды, песчаные карьеры, водохранилища и озера. Водные объекты различались по морфометрии, гидрохимическим и гидрофизическим показателям, которые влияют на первичную продукцию и деструкцию ОВ и, соответственно, на накопление пигментов в отложениях. В период наблюдений в большинстве водоемов был понижен уровень воды. В грунтовом комплексе рек доминировали песчано-гравийные отложения, в водохранилищах, озерах, прудах и карьерах наиболее часто встречались глинистый и макрофитоторфянистый илы. Содержание ОВ в ДО изменялось в пределах 0.4–60% сухой массы. Хлорофилл *a* в отложениях водотоков и водоемов Вьетнама преимущественно представлен Ф. Сравнительно низкие значения удельного содержания Хл+Ф в ОВ (наиболее часто <0.5 мг/г ОВ) тоже свидетельствуют о деградированном состоянии растительного материала в ДО.

Полученные результаты позволили выявить особенности распределения пигментов по типам водоемов и сравнить содержание осадочных пигментов в водохранилищах и озерах разных провинций. Было установлено, что средние концентрации Хл+Ф (в расчете на сухой грунт) возрастают в ряду водных объектов: реки, пруды, карьеры, водохранилища, озера. Содержание осадочных пигментов в водоеме увеличивается от побережья к центральным участкам. Концентрации Хл+Ф в ДО достаточно тесно коррелируют с глубиной на станции, содержанием кислорода в придонном слое воды и типологическими характеристиками грунтов. В большинстве водных объектов Вьетнама выявлено невысокое содержание осадочных пигментов, которое не отличается от величин, известных для умеренного климата. Причины — интенсивная деструкция ОВ при круглогодично высокой температуре, сильные колебания уровня воды, во влажный сезон высокая гидродинамическая активность и значительное поступление терригенного материала с водосбора. По средним концентрациям осадочных пигментов трофическое состояние исследованных рек и прудов Вьетнама оценено как олиготрофное, песчаных карьеров и водохранилищ — мезотрофное, озер — гипертрофное.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № АААА-А18-118012690096-1: “Разнообразие, структура и продуктивность альгоценозов пресноводных экосистем”.*

## АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У МОЛОДИ ПЛОТВЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И МЕДИ

А. А. Филиппов, И. Л. Голованова, Ю. В. Чеботарёва, В. В. Крылов

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, andron183@ibiw.ru

В естественных условиях на рыб, как правило, действует несколько отличающихся по своей природе агентов. Медь относится к числу наиболее распространенных загрязнителей природных вод. Другим фактором, сопутствующим загрязнению вод тяжелыми металлами, являются антропогенные электромагнитные поля (ЭМП), влияние которых может приводить к изменению эффектов химических веществ (Golovanova et al., 2013; Zebal et al., 2019).

Пищеварительные ферменты рыб хорошо адаптированы к условиям существования, и их свойства могут меняться при действии ряда природных и антропогенных факторов. Так, при исследовании *in vitro* действия ионов меди и цинка (0.1–25 мг/л) на активность гликозидаз кишечника у ряда видов пресноводных рыб установлено, что амилолитическая активность снижается с ростом концентрации металлов на 15 до 46% в зависимости от вида рыб. Для ферментов рыб планкто- и бентофагов медь токсичнее цинка, для типичных и факультативных ихтиофагов – наоборот. Совместное действие ионов меди и цинка (1:1) в большинстве случаев ослабляет эффекты раздельного влияния этих металлов (Филиппов, Голованова, 2010). Чувствительность пищеварительных гликозидаз плотвы *Rutilus rutilus* (L.) к ионам меди меняется после воздействия на эмбрионы низкочастотного ЭМП (72.5 Гц, 150 мкТл) (Golovanova et al., 2013), имитации магнитной бури (Filiprov et al., 2015), а также при смещении суточной геомагнитной вариации (Golovanova et al., 2019). Комплексное влияние меди в концентрациях, встречающихся в водной среде, и ЭМП промышленной частоты на пищеварительную функцию рыб ранее практически не исследовалось (Golovanova et al., 2013).

В настоящей работе в условиях *in vitro* исследовано раздельное и совместное влияние ионов меди в концентрации 0.001, 0.01 и 0.1 мг/л и низкочастотного ЭМП (50 Гц) интенсивностью 0.1, 1 и 10 мкТл на активность гликозидаз (амилолитическую активность и активность мальтазы) в кишечнике сеголетков плотвы. Действие указанных факторов осуществляли на ферментативно-активный препарат слизистой оболочки рыб в течение 1 часа при температуре 20°C, pH 7.4.

Установлено, что ЭМП интенсивностью 0.1 и 10 мкТл снижает амилолитическую активность на 33 и 22% по сравнению с контролем (естественное геомагнитное поле). В присутствии ионов меди выявлена лишь тенденция к снижению амилолитической активности на 6–16%. Совместное действие ионов меди и ЭМП статистически значимо не изменяет амилолитическую активность. Лишь при действии меди в концентрации 0.1 мг/л и ЭМП интенсивностью 0.1 мкТл она была выше контроля на 32%.

Активность мальтазы при действии ЭМП достоверно выше на 21–45% по сравнению с контролем, причем прямая зависимость между силой эффекта и интенсивностью поля отсутствует. Ионы меди в концентрации 0.001 и 0.01 мг/л не изменяют активность мальтазы, в наибольшей концентрации 0.1 мг/л повышают её на 19%. При совместном действии меди (0.1 мг/л) и ЭМП интенсивностью 10 мкТл активность мальтазы на 8% ниже контроля.

Таким образом, в условиях *in vitro* ионы меди в концентрациях 0.001, 0.01 и 0.1 мг/л, встречающихся в водной среде, в большинстве случаев не изменяют амилолитическую активность и активность мальтазы как при естественном геомагнитном поле, так и в сочетании с действием низкочастотного ЭМП (50 Гц) интенсивностью 0.1, 1 и 10 мкТл. В то же время ЭМП промышленной частоты меняет активность гликозидаз в кишечнике молоди плотвы, влияя на скорость ассимиляции углеводных компонентов пищи.

Работа выполнена в рамках государственного задания (темы №№ АААА-А18-118012690102-9, № АААА-А18-118012690222-4).

## АРХИТЕКТОНИКА МЕЗОНЕФРОСА *POLYPTERUS SENEGALUS*

Е. А. Флёрова<sup>1,2</sup>, Е. Г. Евдокимов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса»,

150517, Россия, Ярославская обл., Ярославский р-н, пос. Михайловский, ул. Ленина, д. 1;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»,

150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14,

<sup>1</sup>katarinum@mail.ru, <sup>2</sup>skrad200052@yandex.ru

*Polypterus senegalus* относится к группе рыб, которые имеют специальный орган, дериват глотки, служащий для дыхания атмосферным воздухом. Появление воздушного дыхания повлияло на все системы организма, в том числе и систему выделения. Мезонефрос играет важнейшую роль в процессах адаптации, связанных с изменением интенсивности метаболизма. От особенностей строения этого органа зависит пролиферация кровяных клеток, так как лимфомиелоидная ткань, образующая инвезиций почки, занимает особое значение в системе крови. Данные по архитектонике мезонефроса *Polypterus senegalus* получены впервые, ранее такого рода исследования проводились на *Protopterus dolloi*.

Объектом исследования послужили 3 особи *Polypterus senegalus* Cuvier, 1829. У каждой особи почки отсекали, фиксировали и изготавливали серию из 5100 парафиновых срезов. При помощи светового микроскопа получали серию цифровых фотографий и далее делали сшивку цифровых фотографий. Морфометрический анализ проводили с помощью программы J Micro Vision v1.2.7. 2002–2008. Трёхмерную реконструкцию мезонефроса выстраивали с помощью программы Nicolas Roduit, Reconstruct 1996–2007.

Для проведения исследования орган был условно разделён на сегментальные части и фронтальные слои. Для мезонефроса *P. senegalus* характерен вектор распределения анатомических структур, выражающийся в увеличении количества, плотности и группирования почечных капсул к каудально-вентральному полюсу мезонефроса. В тоже время, в краниально-дорсальном направлении происходит увеличение выраженности развития лимфомиелоидной ткани и размера почечных телец. Фронтальная структура почки имеет зональное распределение почечных телец, частей нефрона и лимфомиелоидной ткани. Можно выделить три зоны: медиальную, занятую преимущественно почечными тельцами, медиолатеральную, включающую дистальные каналцы нефрона, и латеральную, содержащую кроветворную ткань и проксимальные сегменты каналцев. Полученные результаты позволяют значительно расширить сравнительно-эволюционные представления о развитии в филогенезе структур, отвечающих за осморегуляторную и кроветворную функцию анамний.

Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№АААА-А18-118082390025-7).

## УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Е. М. Фомичёва

ФГБОУ ВО Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, д.14, fomaliona@bk.ru

Способность живых организмов выживать в условиях неблагоприятных температур вызывает интерес исследователей на протяжении не одного десятка лет. Именно температура является одним из важнейших факторов среды, ограничивающих распространение и определяющих уровень активности организма.

Для водных беспозвоночных, обитателей псаммона, температурный фактор является одним из обуславливающих выживаемость в период гидрологической зимы. В грунте выше уреза воды под снежным покровом температуры, как правило, сохраняются выше 0°C. По биологической температурной шкале за верхнюю отрицательную температуру холодового воздействия принимается температура +4°C, поэтому именно эта температура была выбрана для изучения выживаемости ряда водных беспозвоночных в первой серии экспериментов.

Эксперименты проводили с использованием климатической камеры (камера постоянной температуры и влажности, модель ТН-МЕ-025). Скорость понижения температуры в климатической камере задавали автоматически — 0.1°C в минуту до выбранного значения температуры +4°C, время экспозиции — 24 ч. Акклимацию гидробионтов проводили в течение 7 сут. при температуре +18°C.

Для работы использовали водных беспозвоночных, отобранных из проб псаммона прибрежного грунта р. Улейма (Ярославская область). В качестве тест-объектов были выбраны остракоды *Cypridopsis vidua* (O.F.Müller, 1776), *Dolerocypris pellucida* Klie, 1932, олигохета *Lumbriculus variegatus* Müller, 1773, личинки поденки *Centroptilum luteolum* (O.F. Müller, 1776). Использовали три повторности по 10 особей в каждой для остракод и олигохет, по 3 особи на повторность для личинок поденок. Выживаемость особей определяли по наличию двигательной активности.

Температурное воздействие +4°C в течение 24 ч практически не повлияло на жизнеспособность *Cypridopsis vidua* и *Lumbriculus variegatus*, их выживаемость составила 96% и 100% соответственно. Известно, что олигохеты *Lumbriculus variegatus* спорадически встречаются жизнеспособными в промерзающих грунтах прибрежных участков рек. Напротив, в эксперименте с *Dolerocypris pellucida* отмечена гибель 90% особей. Вероятно, это обусловлено особенностями биологии вида, поскольку данный вид относят к достаточно теплолюбивым. В случае с личинками поденок *Centroptilum luteolum* сразу после экспозиции особи практически не проявляли двигательную активность, однако реагировали на раздражение иглой. Для них также отмечено нарушение ориентации в пространстве. Через 2–3 ч после экспозиции большинство особей демонстрировали двигательную активность разной степени интенсивности, но через сутки жизнеспособными осталось только 54% особей.

Таким образом показано, что ряд водных беспозвоночных способны сохранять жизнеспособность при кратковременном воздействии пониженных температур. Устойчивость вида к воздействию пониженных температур будет во многом зависеть от особенностей биологии вида, его функционального состояния и адаптационных возможностей.

Работа выполнена в рамках госзаказа по темплану НИР ЯрГУ 2019 г. (ВИП-009) «Биоразнообразие, функционирование живых систем и контроль состояния окружающей среды» (№ АААА-А17-117020750012-8).

# АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ РЫБ ПРИ ЗАРАЖЕНИИ ЦЕСТОДАМИ И ЗАЩИТА ПАЗАРИТА ОТ ПРОТЕИНАЗ ХОЗЯИНА

Т. В. Фролова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, bianca28061981@gmail.com

Установлено изменение активности пищеварительных ферментов хозяина при цестодной инвазии. Так, при заражении цестодой *Proteocephalus torulosus* снижается активность протеолитических ферментов и изменяется спектр протеиназ в кишечнике синца. Заражение окуней старших возрастных групп плероцеркоидами *Triaenophorus nodulosus* также приводит к снижению активности ферментов, обеспечивающих начальные этапы ассимиляции белковых компонентов пищи рыб, но не влияет на активность гликозидаз, что в свою очередь ведет к изменению соотношения активности этих ферментов и, очевидно, снижает эффективность питания рыб. Снижение протеолитической активности у зараженных рыб происходит вследствие уменьшения доли сериновых и металлопротеиназ. Эти изменения могут быть связаны с адсорбцией ферментов на пищеварительно-транспортной поверхности цестод и их ингибированием. Также отмечено повышение активности амилаз, что можно объяснить защитной реакцией организма хозяина на присутствие паразита. В результате проведенных исследований по влиянию заражения ерша цестодами *Proteocephalus cernuae* на активности протеолитических ферментов его кишечника показано, что эффект зависит от размеров населяющих кишечник цестод. Активность протеиназ убывает при малой суммарной длине паразитов и возрастает при их большой длине. Изменения затрагивают в основном сериновые протеиназы.

Кроме того, определено, что цестоды обладают способностью ингибировать протеиназы хозяина и коммерческий препарат трипсина. Ингибирующей способностью в разной степени обладают как среда инкубации, так и экстракты исследованных цестод. Препараты *T. nodulosus* и *Eubothrium rugosum* показали больший ингибирующий эффект по отношению к коммерческому препарату трипсина, чем к протеиназам хозяина. По-видимому, продуцируемый этими цестодами ингибитор специфичен для трипсина. В то же время экстракт *P. torulosus* в большей степени ингибировал активность протеиназ слизистой оболочки кишечника хозяина. Это может быть связано как с более высоким сродством ингибитора червя с ферментами кишечника хозяина, так и с продуцированием цестодой смеси ингибиторов.

Снижение протеолитической активности слизистой оболочки кишечника при использовании экстрактов цестод в качестве ингибитора сопоставимо с таковым при применении ингибитора сериновых протеиназ – PMSF, хотя доля ингибирования в первом случае несколько меньше, чем во втором.

Выявлено, что при инкубации живых *E. rugosum* в растворах трипсина различной концентрации активность последнего снижается. Степень снижения активности трипсина зависит от его концентрации. Отсутствие заметного ингибирующего действия среды инкубации *E. rugosum* на активность трипсина может свидетельствовать о том, что ингибирующее действие цестод связано с адсорбцией фермента на поверхности тегумента. Экстракт *E. rugosum* ингибирует более 80% активности трипсина и около 50% протеолитической активности гомогената слизистой оболочки кишечника хозяина – налима. Ингибиторная активность червей не зависит от степени их зрелости. Несмотря на то, что полное ингибирование протеиназ хозяина не достигается, даже неполная инактивация протеолитических ферментов кишечника, и в частности, трипсина, обеспечивает резистентность гельминтов в их среде обитания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 15-04-02474, 16-34-50011), за счёт средств федерального бюджета в рамках государственного задания (№АААА-А18-118012690100-5).

## ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА МИКРОБОЦЕНОЗА ПО ЛИПИДНЫМ БИОМАРКЕРАМ В ОСАДКАХ ОЗ. НЕРО

Н. В. Шеховцова<sup>1</sup>, Г. А. Осипов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский госуниверситет им. П.Г. Демидова,  
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14; ninval@mail.ru;

<sup>2</sup>Институт аналитической токсикологии,  
125466, Россия, г. Москва, а/я 65; osipovga@mail.ru

Экосистема озера Неро (Ярославская обл.) изучается гидробиологами уже более 100 лет в связи с процессами эвтрофирования водоема. Однако сведения о структуре микробоценоза донных осадков, играющих ключевую роль в деструкции органического вещества, единичны.

Цель настоящей работы — изучить биоразнообразие и потенциальную функциональную активность бактериобентоса по результатам определения липидных профилей трех проб сапропеля, отобранного на третьей станции (глубина водоема 1.5 м). Пробы сапропеля были предоставлены доцентом кафедры экологии и зоологии ЯрГУ, к.б.н. О.В. Бабаназаровой.

С помощью метода газовой хроматографии – масс-спектрометрии в донных осадках обнаружено 81 жирнокислотных биомаркеров (ЖК), в том числе *нормальные насыщенные* (10:0, 12:0, 13:0, 14:0, 15:0, 17:0, 19:0); *разветвленные насыщенные* (14:1, 14:1d11, 16:1d7, 16:1d9c, 16:1d9t, 16:1d11, 17:1, 18:1d9, 18:1d11, 18:1d11t, 18:1d11c, 20:1d9, 20:1d11, 10Me14, 10Me16, 10Me17, 11Me18:1, в т.ч. циклодекановые — 17 сус и 19 сус; *нормальные мононенасыщенные* — 14:1, 14:1d11, 16:1d7, 16:1d9c, 16:1d9t, 16:1d11, 17:1, 18:1d9, 18:1d11a, 18:1d11, 18:1d11t, 18:1d11c, 20:1d9, 20:1d11; *полиненасыщенная* — октадекадиеновая (18:2) ЖК, *гидроксикислоты*: 3h10, h11, 3h12, 2h12, hi13, 3ha13, 3h13, 3h14, 2h14, 3hi15, 3ha15, 2hi15, 3h15, 2h15, h16, hi16, 3hi17, 3ha17, 3h17, h18, 10h18, 3h20, i20, 3h22, 2h19сус; *альдегиды* — i14a, 14a, a15a, i15a, 15a, i16a, 16:1a, 16a, i17a, a17a, 17a, 18a; *стеролы* — холестерол и б-ситостерол. Среди выявленных ЖК — специфические биомаркеры растений, простейших, грибов и бактерий. Кроме того, соотношения *цис*- и *транс*-изомеров гексадеценовой (16:1d9) и вакценовой (18:1d9) кислот — 10:1 и 100:1 соответственно — позволяют сделать вывод об адаптированности микробоценоза к стрессовым факторам донных отложений оз. Неро (например, низким температурам, воздействию тяжелых металлов) и его функционально активном состоянии.

По ранее разработанной для почв методике (Верховцева, Осипов, 2008) получена реконструкция таксономической структуры микробоценоза сапропеля. Расчетная численность бактерий равна 227 — 385 млн. кл/г сухого вещества, что соизмеримо с численностью эукариотных микроорганизмов: 237–402 млн. усл. кл/г. Последние были представлены простейшими (60%), грибами (39%) и растениями (1%).

Маркеры бактерий составляли более 94% от общего количества ЖК и были отнесены к 49 группам разного таксономического ранга, из которых маркеры 41 группы присутствовали постоянно. Впервые установлено, что доминантными группами осадков оз. Неро являются протеолитические бродильщики р. *Peptostreptococcus* (20%), маслянокислые бактерии р. *Vityrivibrio* (19%) и аноксигенные фотосинтезирующие бактерии р. *Rhodobacter* (13%). Постоянными содоминантами является группа железоредукторов (6%). Виды, относящиеся к подвижным аэробным хемоорганогетеротрофам, составляют около 11% бактериобентосного сообщества. Показано, что в начале вегетационного периода основу сообщества составляют маслянокислые микроорганизмы, а с конца июня по октябрь — протеолитические бродильщики. В целом выявленная структура микробоценозов осадков оз. Неро согласуется с данными других исследователей (Дзюбан, 2010) и свидетельствует о частичной деградации биополимеров из-за слабой минерализации органического вещества, что соответствует гиперэвтрофному состоянию водоема.

*Настоящее исследование выполнено в рамках госзаказа по темплану НИР ЯрГУ 2009 г. (ЗН-508) «Таксономическая структура микробных сообществ как показатель биомониторинга осадков, почв и пород».*

## ВЛИЯНИЕ ПОСТЕПЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ И ПОКАЗАТЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У ГЛУБОКОВОДНЫХ АМФИПОД *OMMATOGAMMARUS FLAVUS*

Ю. А. Широкова<sup>1</sup>, Е. В. Мадьярова<sup>1,2</sup>, Я. А. Ржечицкий<sup>1</sup>, Ю. А. Лубяга<sup>1,2</sup>,  
Ж. М. Шатилина<sup>1,2</sup>, М. А. Тимофеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИИ биологии ФГБОУ ВО «ИГУ», 664025, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина 3;  
<sup>2</sup>Байкальский исследовательский центр, 664003, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина 21,  
yuliashirokova2501@gmail.com

Целью исследования была оценка влияния постепенной гипо- и гипертермии на энергетический метаболизм и показатели окислительного стресса у глубоководных амфипод *Ommatogammarus flavus* (Dybowsky, 1874).

Амфипод отбирали с глубин 100 и 300 м и акклимировали в течение 7 сут. при 4°C. Проводили постепенное (1°C/ч) понижение и повышение температуры среды от 4°C до 0.5°C и 22°C. Амфипод фиксировали в жидком азоте при достижении температур эксперимента: 0.5, 1, 2, 4 (контроль), 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и 22°C. Энергетический метаболизм оценивали по содержанию глюкозы, гликогена и аденилатов. Эффективность антиоксидантной системы оценивали по активности антиоксидантных ферментов и уровню перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Содержание глюкозы и гликогена у амфипод со 100 м в контрольной группе составляло  $0.14 \pm 0.08$  и  $3.32 \pm 0.66$  мкмоль/г соответственно. Концентрация гликогена в ходе экспозиции статистически значимо не изменялась. При повышении температуры среды содержание глюкозы увеличилось до  $0.89 \pm 0.19$  мкмоль/г при 18°C и до  $1.61 \pm 0.45$  мкмоль/г при 22°C.

В контрольной группе амфипод, выловленных со 100 м, содержание АТФ, АДФ и АМФ составило  $1.24 \pm 0.18$ ,  $0.15 \pm 0.07$  и  $0.20 \pm 0.04$  мкмоль/г соответственно, а уровень энергии аденилатов –  $0.82 \pm 0.01$  усл. ед. При повышении температуры было выявлено только кратковременное увеличение ( $0.27 \pm 0.03$  мкмоль/г) в содержании АДФ при 18°C.

Содержание лактата в контрольных образцах было равно  $0.20 \pm 0.17$  мкмоль/г у амфипод со 100 м и  $0.22 \pm 0.15$  мкмоль/г у особей с 300 м. Отмечали достоверное повышение концентрации лактата до  $0.72 \pm 0.23$  мкмоль/г сыр. веса (100 м) и  $0.63 \pm 0.19$  мкмоль/г сыр. веса у амфипод, выловленных с 300 м, при достижении температуры 22°C.

Уровень ПОЛУ амфипод с обеих глубин оценивали по изменению содержания диеновых конъюгатов, триеновых конъюгатов и оснований Шиффа (ОШ) в нейтральных липидах и фосфолипидах (ФЛ). Содержание ОШ в ФЛ в контрольной группе амфипод с 300 м было достоверно ниже ( $0.013 \pm 0.007$  усл. ед.), чем у животных с глубины 100 м ( $0.021 \pm 0.005$  усл. ед.). При проведении гипо- и гипертермии не было выявлено статистически значимых отличий от контрольных значений в уровне ПОЛ у исследуемых амфипод.

Оценивали активность антиоксидантных ферментов – каталазы, пероксидазы и глутатионS-трансферазы (ГСТ). Активность ГСТ в контрольных группах амфипод с 300 м была достоверно ниже ( $9.9 \pm 1.5$  нКат/мг белка), чем у животных со 100 м ( $15.4 \pm 2.7$  нКат/мг белка). При постепенном изменении температуры активность каталазы и пероксидазы статистически достоверно не изменялась в сравнении с контролем у особей с обеих глубин. При градиентной гипертермии отмечали повышение активности ГСТ до  $14.6 \pm 1.4$  нКат/мг белка при 6°C и до  $14.2 \pm 1.9$  нКат/мг белка при 22°C у особей с 300 м.

Выявлено, что наиболее лабильными параметрами температурного стресс-ответа у байкальских глубоководных амфипод *O. flavus* являются лактат и ГСТ. У особей, выловленных с глубин 100 и 300 м, различались только контрольные уровни активности ГСТ и содержания ОШ во фракции фосфолипидов, а также динамика активности ГСТ в ходе экспозиции в условиях гипертермии. Таким образом, глубина обитания оказывает незначительное влияние на исследованные параметры.

Работа проведена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 20-44-383007\_р\_мол\_а, 17-44-388067-р\_а), за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания (№ FZZE-2020-0026).

**АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА И УРОВЕНЬ  
ЭКСПРЕССИИ мРНК ГЕНОВ МЫШЕЧНЫХ БЕЛКОВ  
У МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ  
ПРИ ИСКУССТВЕННОМ УВЕЛИЧЕНИИ СВЕТОВОГО ДНЯ**

**Н. С. Шульгина, М. В. Чурова, М. Ю. Крупнова, Н. Н. Немова**

*Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра*

*«Карельский научный центр Российской академии наук»,*

*185910, Россия, РК, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, e-mail: Shulgina28@yandex.ru*

Одним из факторов, влияющих на рост, развитие, пищевое поведение, обмен веществ молоди рыб является длина светового дня (фотопериод). В ряде работ было показано, что длинный световой день стимулирует темпы роста атлантического лосося. Однако закономерности и механизмы воздействия фотопериода на энергетический обмен, регуляцию мышечного роста и состояние молоди лосося, особенно при его искусственном выращивании, всё ещё недостаточно изучены.

Изучали влияние разных режимов фотопериода на активность ферментов энергетического метаболизма (цитохром с оксидазы, ЦО; лактатдегидрогеназы, ЛДГ и альдолазы) и уровень экспрессии мРНК специфических для мышц генов (*MyHC*, *MyoG*, *Myf5*, *MyoD1b*, *MSTN-1b*) в белых скелетных мышцах сеголеток (0+) и двухлеток (1+) атлантического лосося *Salmo salar* L. В условиях рыбоводного завода был поставлен эксперимент (№ 1) по влиянию двух режимов фотопериода - 16С: 8Т (16 ч свет: 8 ч темнота) и 24С: 0Т (24 часа свет: 0 ч темнота) в течение 3 месяцев (с августа по октябрь). В контрольной группе рыбы содержались без дополнительного освещения. По окончании эксперимента № 1 рыб пересадили на зимнее выращивание: часть сеголеток 0+, ранее содержавшихся при постоянном освещении (24:0), поместили в условия без дополнительного освещения (бассейн № 3), а другая часть продолжила расти со светом в режиме 24 часа (бассейн № 4). Рыбы, которые в предыдущем эксперименте находились в контрольном бассейне, также были разделены на две группы (бассейн № 1 и 2), но без дополнительного освещения в зимний период. Далее с 18 мая и до 15 октября (эксперимент № 2) в экспериментальных бассейнах № 2, 3 и 4 освещение было постоянным - 24С:0Т (24 часа), бассейн № 1 был контрольным - без дополнительного освещения.

Проведенный в работе анализ темпов роста показал, что к концу первого эксперимента средняя масса сеголеток из бассейна с режимом 24 С достоверно превышала массу рыб из двух других бассейнов. Эти различия согласовались с высоким уровнем аэробного и анаэробного обмена у этой группы рыб. При этом уровень экспрессии мРНК *MyoG* и гена тяжелой цепи миозина (*MyHC*), отражающего темпы прироста мышечной массы, был выше у сеголеток (0+) из бассейнов с дополнительным освещением по сравнению с контрольной группой в осенний период. На второй год исследования у двухлеток (1+) лосося, содержавшихся при постоянном освещении, уже в мае и июне наблюдались достоверно более высокие уровни экспрессии мРНК генов МРФ и *MyHC*, а также темпы весового роста по сравнению с рыбами из контрольной группы. Согласно биохимическому анализу уровни активности ЦО, ЛДГ и альдолазы были ниже у рыб из 4 бассейна, что, возможно, связано с воздействием непрерывного освещения в зимний период, что привело к метаболическим перестройкам, выраженным в снижении уровней энергетического и углеводного обмена у этой группы особей лосося относительно других групп. Тем не менее, продолжительное дополнительное освещение благоприятно отразилось на темпах роста молоди лосося. Выявленные особенности экспрессии мРНК генов мышечных белков наряду с изменениями уровня энергетического метаболизма у молоди атлантического лосося, вероятно, указывают на различия в механизмах регуляции процессов роста и развития у рыб в зависимости от режима освещения. Исследования проведены на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-14-00081).*

## МАКРОФИТЫ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ КАК ФАКТОР СЕЛЕКЦИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ В РИЗОСФЕРНОЙ ЗОНЕ

Н. М. Щеголькова<sup>1,2</sup>, С. Л. Харитонов<sup>1</sup>, К. Ю. Рыбка<sup>2</sup>,  
А. В. Александрова<sup>3</sup>, М. В. Семенов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет Почвоведения,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12;

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, 117971, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 3;

<sup>3</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12;

<sup>4</sup>Почвенный институт им. В. В. Докучаева,  
119017, Россия, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2

В настоящее время в мире существует две принципиально различающиеся группы биологических очистных сооружений: сооружения с активным илом (взвешенным или прикрепленным) и фито-очистные сооружения (ФОС). В отличие от очистных сооружений с активным илом, ФОС – это системы с пастбищно-детритной трофической цепью, основой которой являются автотрофы, напрямую использующие энергию солнца для синтеза органических соединений. ФОС представляет собой аналог ферментационного биореактора со временем пребывания не менее нескольких суток, в котором культивирование микроорганизмов осуществляется в проточном режиме. Основными деструкторами ксенобиотиков в ФОС являются микроорганизмы (бактерии и грибы).

Мы определили структуру микробного сообщества в двух ФОС в Таиланде, принимающих одни и те же сточные воды. ФОС были построены по одинаковой технологической схеме, но засажены разными типами макрофитов: *Canna sp.* и *Typha sp.* Таким образом, мы получили возможность выявить эффект, оказываемый макрофитом на структуру грибного и микробного сообщества сооружения и, как следствие, на эффективность очистки сточных вод от токсикантов. Исследования эффективности очистки сточных вод на обоих сооружениях проводились по основным показателям производственного мониторинга.

Цель работы – выявление видового состава культивируемых микроскопических грибов в разных зонах фито-очистных сооружений, оценка их возможной роли в процессах деградации поллютантов и влияния на растения в фитосистеме. Для анализа были взяты 13 образцов с различных участков двух ФОС. Образцы представляли собой отобранные в микропробирку пробы илистых осадков и гидроморфная почва вокруг корней растений. Выделение микромицетов было выполнено методом посева из серийных разведений 3. Ваксмана на агаризованные питательные среды (Методы..., 1991). Для идентификации были использованы среды, рекомендуемые для конкретных групп грибов: среда Чапека с 3% содержанием сахарозы, сусло-агар, картофельно-декстрозный агар, овсяный агар и др. (Gams et al., 1998).

Во всех изученных пробах присутствовали микроскопические грибы. Всего было выявлено 45 видов микромицетов. Количество их в каждом конкретном образце варьировало от 7 до 15. Количество колониеобразующих единиц варьировало от 20 до 203 на проанализированный объем образца. Индекс разнообразия Шеннона изменялся в пределах 1.09–2.24, что говорит о достаточно высоком разнообразии и сравнимо с таковыми показателями для почв. При анализе видового состава отдельных образцов из ФОС Таиланда видно, что они распадаются на две группы. Ведущим фактором, влияющим на состав микроскопических грибов, здесь является состав растительности (*Canna* или *Typha*).

Уникальными для ФОС с *Canna* стали *Aspergillus terreus* и *Aspergillus carneus*. Уникальными для ФОС с *Typha* стали *Penicillium sclerotigenum*, *Sarocladium kiliense*, *Talaromyces purpureogenus* и *Alternaria botrytis*.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-29-25027).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Андреева А.М.</b> НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОТЕОМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ	3
<b>Андреева А.М.</b> КАПИЛЛЯРНЫЙ ОБМЕН БЕЛКОВ У РЫБ НА ПРИМЕРЕ TELEOSTEI. НЕУЧТЕННЫЕ ФАКТОРЫ	4
<b>Большаков В.В.</b> ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ПОДРАЗДЕЛЁННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ <i>CHIRONOMUS PLUMOSUS</i> (DIPTERA)	5
<b>Борвинская Е.В., Кочнева А.А., Бедулина Д.С.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВ ЧАСТЕЙ ТЕЛА ПАРАЗИТОВ РЫБ <i>TRIAENOPHORUS NODULOSUS</i> И <i>TRIAENOPHORUS CRASSUS</i>	6
<b>Борисова С.Д., Ситдикова Н.И.</b> БИОТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САЛАТА В АКВАКУЛЬТУРЕ	7
<b>Ботязова О.А., Романова М.А.</b> ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>CERIODAPHNIA AFFINIS</i> L. В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ И ХРОНИЧЕСКОЙ ИНТОКСИКАЦИИ	8
<b>Ганжа Е.В.</b> СОДЕРЖАНИЕ ПОЛОВЫХ СТЕРЕОИДНЫХ ГОРМОНОВ В КРОВИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i>	9
<b>Гарина Д.В., Мехтиев А.А.</b> НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ НЕЙРОСПЕЦИФИЧНОГО БЕЛКА DRYL-2 НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ У КОСТИСТЫХ РЫБ В РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ ОБУЧЕНИЯ	10
<b>Голованова И.Л., Аминов А.И.</b> ВЛИЯНИЕ ГЛИФОСАТСОДЕРЖАЩИХ ГЕРБИЦИДОВ НА ПИЩЕВАРЕНИЕ У РЫБ	11
<b>Ерохина А.А., Кавцевич Н.Н., Минзюк Т.В.</b> МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ЛАСТОНОГИХ В ПЕРВЫЕ МЕСЯЦЫ ПОСТНАТАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ	12
<b>Заботкина Е.А., Средняков В.Е., Трофимов Д.Ю., Ягунов И.С.</b> МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ КЛЕТКИ КРОВИ ТЮЛЬКИ ОБЫКНОВЕННОЙ <i>CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS</i> NORDMANN, 1840 ПРИ РАССЕЛЕНИИ ЕЕ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА	13
<b>Запруднова Р.А.</b> ИОННАЯ РЕГУЛЯЦИЯ У РЫБ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕЩА) В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ	14
<b>Запруднова Р.А.</b> УЧАСТИЕ ИОНОВ В ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ У РЫБ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ	15
<b>Запруднова Р.А.</b> СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РЫБ ПО ИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ	16
<b>Зьен Чан Дык</b> СОСТОЯНИЕ ГОНАД КОЛЬЧУЖНЫХ СОМОВ (СЕМ. LORICARIIDAE) ПРОВИНЦИИ КХАНЬХОА (ВЬЕТНАМ)	17
<b>Извекова Г.И., Фролова Т.В., Соловьев М.М.</b> СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ ИНГИБИТОРОВ ПРОТЕИНАЗ В ФИЗИОЛОГИИ ЦЕСТОД	18
<b>Кавцевич Н.Н., Ерохина И.А., Минзюк Т.В.</b> ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КРОВИ ТЮЛЕНЕЙ	19
<b>Кальченко Е.И., Коваль М.В., Попков А.А.</b> АДАПТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У МОЛОДИ КЕТЫ ИЗ ЭСТУАРИЯ РЕК ПЕНЖИНА И ТАЛОВКА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)	20
<b>Камшилов И.М.</b> НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ РЫБ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГЕМОГЛОБИНА	21
<b>Кашинская Е.Н., Симонов Е.П., Соловьев М.М.</b> РАЗНООБРАЗИЕ АССОЦИИРОВАННОЙ МИКРОБИОТЫ У ПАРАЗИТОВ РЫБ С РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	22

<b>Константинов М.А., Андреева А.М., Торопыгин И.Ю. ПРОТЕОМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВ РЫБ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ</b>	<b>23</b>
<b>Копылов А.И., Заботкина Е.А., Романенко А.В. ВИРУСНАЯ ИНФЕКЦИЯ И ВИРУС ИНДУЦИРОВАННАЯ СМЕРТНОСТЬ ГЕТЕРОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОДЫ В АРКТИКЕ</b>	<b>24</b>
<b>Кочнева А.А., Борвинская Е.В., Смирнов Л.П. АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОТЕОМА (В Т.Ч. ПРЕДСКАЗАННОГО СЕКРЕТОМА) <i>SCHISTOCERPHALUS SOLIDUS</i> ПРИ ИНКУБАЦИИ ПЛЕРОЦЕРКОИДОВ В УСЛОВИЯХ, ИМИТИРУЮЩИХ ПОПАДАНИЕ В ТЕПЛОКРОВНОГО ХОЗЯИНА</b>	<b>25</b>
<b>Крылов В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗНЫХ МАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА ГИДРОБИОНТОВ</b>	<b>26</b>
<b>Крылов В.В., Извеков Е.И., Павлова В.В., Панкова Н.А., Осипова Е.А. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ И РЕЖИМА ОСВЕЩЕНИЯ НА ЦИРКАДНЫЕ РИТМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ <i>DANIO RERIO</i></b>	<b>27</b>
<b>Кузьмин Е.В. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИЗОФЕРМЕНТНЫХ СПЕКТРОВ МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ ДВУХ ВИДОВ МАЛОХРОМОСОМНЫХ ОСЕТРОВЫХ</b>	<b>28</b>
<b>Кузьмина В.В. РЕГУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ПИЩИ У РЫБ</b>	<b>29</b>
<b>Куклина М.М. АКТИВНОСТЬ ПРОТЕАЗ В КИШЕЧНИКЕ МОЕВКИ ПРИ ИНВАЗИИ ГЕЛЬМИНТАМИ</b>	<b>30</b>
<b>Курашов Е.А., Федорова Е.В., Крылова Ю.В. БИОИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕТАБОЛОМА ПРЕСНОВОДНЫХ МАКРОФИТОВ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ИХ АЛЛЕЛОХЕМИКОВ НА ПЛАНКТОННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ</b>	<b>31</b>
<b>Лукиянов С.В., Кузнецов В.А., Лобачёв Е.А. ВЛИЯНИЕ АСТАТИЧНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОБИОНТОВ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ</b>	<b>32</b>
<b>Мадьярова Е.В., Широкова Ю.А., Лубяга Ю.А., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А. БИОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ДВУХ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ЭВРИБАТНЫХ ВИДОВ АМФИПОД РОДА <i>ОММАТОГАММАРУС</i></b>	<b>33</b>
<b>Мартемьянов В.И. РЕГУЛЯЦИЯ КЛЕТОЧНОГО ОБЪЕМА ПЕЧЕНИ КАРПА <i>CYPRINUS CARPIO</i> В ОТВЕТ НА ПОВЫШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАТРИЯ В ПЛАЗМЕ КРОВИ</b>	<b>34</b>
<b>Метелёва Н.Ю. ПИГМЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПИФИТОНА ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ</b>	<b>35</b>
<b>Мехтиев А.А., Аллахвердиева Т.Н., Амирбеков Н.Э. ФЕНОМЕН ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИЯ К АНТРОПОГЕННЫМ ФАКТОРАМ У РЫБ И ЕГО МЕХАНИЗМЫ</b>	<b>36</b>
<b>Микодина Е.В. ОБЩИЙ АДАПТАЦИОННЫЙ СИНДРОМ ГИДРОБИОНТОВ</b>	<b>37</b>
<b>Минеева Н.М. ПИГМЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕСНОВОДНОГО ПЛАНКТОНА И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ</b>	<b>38</b>
<b>Мурзина С.А., Воронин В.П., Пеккоева С.Н., Нефёдова З.А., Руоколайнен Т.Р., Немова Н.Н. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОСВЕЩЁННОСТИ НА ЛИПИДНЫЙ ПРОФИЛЬ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (<i>SALMO SALAR</i> L.), ВЫРАЩИВАЕМОГО В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНОГО ЗАВОДА</b>	<b>39</b>
<b>Назарова А.А., Гурков А.Н., Верещагина Е.П., Тимофеев М.А. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ГЕМОЦИТОВ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ АМФИПОД <i>EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS</i> В ПЕРВИЧНОЙ КУЛЬТУРЕ</b>	<b>40</b>

<b>Немова Н.Н.</b> ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ГИДРОБИОНТОВ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ	41
<b>Павлова В.В., Столбунова В.В.</b> ВНУТРИВИДОВАЯ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ <i>D. R. BUGENSIS</i>	42
<b>Паюта А.А., Флёрова Е.А.</b> ОСОБЕННОСТИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ В МЫШЦАХ И ОРГАНАХ ЛЕЩА ИЗ РАЗНЫХ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРЬКОВСКОГО, УГЛИЧСКОГО И ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ)	43
<b>Пеккоева С.Н., Воронин В.П., Нефедова З.А., Berge J., Falk-Petersen S., Немова Н.Н., Мурзина С.А.</b> ОСОБЕННОСТИ ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ ЛИПИДНОГО МЕШКА ПЯТНИСТОГО ЛЕПТОКЛИНА <i>LEPTOCLINUS MACULATUS</i> В АРКТИКЕ	44
<b>Решетников Ю.С.</b> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПО МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	45
<b>Руднева И.И., Залевская И.Н., Шайда В.Г.</b> РАЗВИТИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ	46
<b>Светашева Д.Р., Грушко М.П.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КРОВЕТВОРЕНИЯ ЛИЧИНОК КОСТИСТЫХ РЫБ И ЗЕМНОВОДНЫХ	47
<b>Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Коренева Т.Г.</b> ОСАДОЧНЫЕ ПИГМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕНТАЛИ В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ	48
<b>Смирнов А.А., Строганов А.Н., Клинушкин С.В., Семенова А.В.</b> МОРФОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕСКИ ИЗ МОРИСТЫХ И ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ОХОТСКОГО МОРЯ	49
<b>Солдатов А.А.</b> КИСЛОРОДНЫЕ РЕЖИМЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ СТЕНО- И ЭВРИГАЛИННЫХ МОРСКИХ РЫБ В УСЛОВИЯХ ГИПООСМОТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)	50
<b>Соловьев М.М., Пустовалова Н.С., Кашинская Е.Н., Жизберт Э.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА pH ОПТИМУМОВ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ pH ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СИГОВЫХ РЫБ	51
<b>Соловьев М.М., Пустовалова Н.С., Кашинская Е.Н., Симонов Е.П., Жизберт Э.</b> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СОДЕРЖАНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i>	52
<b>Соловьев М.М., Пустовалова Н.С., Василенко В.А., Кашинская Е.Н.</b> ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕННОСТИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА НА АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЧИ У РЫБ С РАЗНЫМ ТИПОМ ПИТАНИЯ	53
<b>Столбунова В.В., Павлова В.В., Кодухова Ю.В.</b> ВЛИЯНИЕ ЧУЖЕРОДНОЙ ЦИТОПЛАЗМЫ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ У БЭККРОССОВ ПРИ ГИБРИДИЗАЦИИ ПЛОТВЫ <i>RUTILUS RUTILUS</i> И ЛЕЩА <i>ABRAMIS BRAMA</i>	54
<b>Строганов А. Н., Смирнов А.А., Семенова А.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОПОЗВОНКОВОЙ СЕЛЬДИ В АКВАТОРИЯХ ТИХОГО ОКЕАНА	55
<b>Тимофеева Н.А., Сигарева Л.Е., Гусаков В.А., Законнов В.В.</b> ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ВЬЕТНАМА	56
<b>Филиппов А.А., Голованова И.Л., Чеботарёва Ю.В., Крылов В.В.</b> АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У МОЛОДИ ПЛОТВЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И МЕДИ	57

<b>Флёрова Е.А., Евдокимов Е.Г. АРХИТЕКТОНИКА МЕЗОНЕФРОСА <i>POLYPTERUS SENEGALUS</i></b>	<b>58</b>
<b>Фомичёва Е.М. УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ Пониженных температур</b>	<b>59</b>
<b>Фролова Т.В. АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ РЫБ ПРИ ЗАРАЖЕНИИ ЦЕСТОДАМИ И ЗАЩИТА ПАРАЗИТА ОТ ПРОТЕИНАЗ ХОЗЯИНА</b>	<b>60</b>
<b>Шеховцова Н.В., Осипов Г.А. ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА МИКРОБОЦЕНОЗА ПО ЛИПИДНЫМ БИОМАРКЕРАМ В ОСАДКАХ ОЗ. НЕРО</b>	<b>61</b>
<b>Широкова Ю.А., Мадьярова Е.В., Ржечицкий Я.А., Лубяга Ю.А., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А. ВЛИЯНИЕ ПОСТЕПЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ И ПОКАЗАТЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У ГЛУБОКОВОДНЫХ АМФИПОД <i>ОММАТОГАММАРУСФЛАВУС</i></b>	<b>62</b>
<b>Шульгина Н.С., Чурова М.В., Крупнова М.Ю., Немова Н. Н. АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА И УРОВЕНЬ ЭКСПРЕССИИ МРНК ГЕНОВ МЫШЕЧНЫХ БЕЛКОВ У МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ УВЕЛИЧЕНИИ СВЕТОВОГО ДНЯ</b>	<b>63</b>
<b>Щеголькова Н.М., Харитонов С.Л., Рыбка К.Ю., Александрова А.В., Семенов М.В. МАКРОФИТЫ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ КАК ФАКТОР СЕЛЕКЦИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ В РИЗОСФЕРНОЙ ЗОНЕ</b>	<b>64</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>65</b>