

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Ануфриевой Елены Валерьевны**, «**Разнообразие и роль животных в структуре, функционировании и динамике экосистем гиперсоленых вод**», представленную на соискание степени доктора биологических наук по специальности 1.5.16 – гидробиология

### **Актуальность и новизна исследования.**

Изучение жизни в экстремальной среде является быстро развивающимся направлением науки. Это определяется как необходимостью таких знаний в различных разделах биологии, так и практическими задачами, в частности, биотехнологии и аквакультуры, поэтому актуальность темы Е.В. Ануфриевой не вызывает сомнений. Гиперсоленые воды относятся к полиэкстремальным местообитаниям, где сразу несколько факторов могут находиться в значениях далеких от оптимальных, что убедительно показано в рассматриваемой диссертации. Поэтому найденные общие закономерности носят глобальный характер и могут быть экстраполированы на другие экстремальные местообитания.

Прежде всего, диссертация Е.В. Ануфриевой нацелена на формирование целостного взгляда на фауну и ее функциональную роль в уникальных экосистемах гиперсоленых вод. Основное внимание в работе уделено рассмотрению влияния солёности на фаунистическое богатство, его структуру, динамику, функциональную роль. Основываясь на результатах собственных разнообразных исследований и всестороннем анализе литературных данных, Е.В. Ануфриева сделала обобщение материала, накопленного по различным аспектам фаунистики и экологии гиперсоленых вод, сформулировав новые эмпирические обобщения.

Полученные результаты углубляют представления о закономерностях и механизмах, обуславливающих отклик популяций и сообществ животных на изменения солёности. Представленный материал поражает широтой охвата разнопланового материала несмотря на то, что отдельные вопросы можно было бы проработать более детально. Следует, отметить, что подобного обзора в мировой литературе нет, он нов и оригинален. Работа является реальным шагом в понимании уникальных экосистем. Все это в целом позволяет рассматривать работу как серьезное научное достижение.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, выводов, трех приложений и списка литературы, который включает 848 работ, из них 647 – на иностранных языках. Текст изложен на 349 страницах, содержит 51 рисунок и 8 таблиц.

Уже сама структура работы Елены Валерьевны характеризуется целостным взглядом на функционирование экосистем, главы посвящены основным структурно-функциональным блокам: первая глава посвящена абиотической среде, вторая – первичному продукционному звену, третья – звену одноклеточных гетеротрофов, пятая – фаунистическому богатству уникальных экосистем, и шестая – функциональной экологии животных, а также в этой главе представлена разработанная автором схема прямого и опосредованного влияния солёности, которая является генеральной концепцией всей диссертации. В седьмой, заключительной главе, дан анализ современных перспектив развития аквакультуры в гиперсоленых водах, т.е. возможности использования результатов диссертации при решении прикладных задач.

Во **Введении** диссертантом показана актуальность исследования, сформулирована цель работы, четко определены задачи, необходимые для ее достижения. Положения, выносимые на защиту, состоят из четырех пунктов. Описаны научная новизна, теоретическое и практическое значение работы, а также представлен раздел по апробации полученных результатов, описан личный вклад соискателя и выражены благодарности.

В **Главе 1** описано разнообразие типов гиперсоленых вод и их распространение на планете. Проанализированы абиотические особенности гиперсоленых вод, как полиэкстремальной среды обитания для животных. Глава обобщает большой массив

данных других исследователей, хотя имеются и собственные интересные данные соискателя по абиотическим особенностям уникальных экосистем. Задавшись целью дать глобальный обзор, автор четко не выделяла свой вклад в получение новых данных, включая свои работы в список цитируемых после каждого заключения.

В **Главе 2** представлен взгляд автора на особенности первичного продукционного звена в гиперсоленых водоемах. Наряду с обобщением литературных данных, соискатель использовала и собственные результаты, например, по матам нитчатых зеленых водорослей *Cladophora* и их эпибионтам, что можно было бы дать и подробнее. Глава, несомненно, способствует лучшему пониманию первично-продукционного звена в уникальных экосистемах. Учитывая то, что эта часть работы не является центральной в диссертации, нельзя от нее требовать большего.

В **Главе 3** используя большой массив информации, даны общие представления об одноклеточных гетеротрофных организмах в гиперсоленых водах. В проведенный анализ вошли всего несколько работ соискателя с соавторами. Интегрально проанализировав их разнообразие в гиперсоленых водах, и отметив в сумме наличие 276 видов, соискатель установила, что с ростом солености количество таксонов всех уровней эукариотных одноклеточных организмов убывает. Данная глава представляет интегральный взгляд на богатство и особенности этого звена в экосистемах гиперсоленых вод.

**Глава 4** является методической, приводится описание водоемов Крыма, Китая, Египта, в изучении которых автор участвовала, а также разнообразные методы, использованные в работе. Важно отметить, что работа базируется как на многолетних полевых (более 1000 проб), так и многочисленных экспериментальных исследованиях, в частности соискателем с соавторами проведены эксперименты по питанию, двигательной активности, половому поведению, покоящимся стадиям модельных видов животных. В главе также представлены статистические и математические методы обработки данных.

В **Главе 5**, которая наряду с шестой главой является основополагающей, описано разнообразие животных в гиперсоленых водах мира в диапазоне солености от 35 до 350 г/л. Данная глава базируется на очень объемном собственном и литературном материале приложений Б и В, в которых составлены списки видов свободноживущих и паразитических животных (809 и 57 видов соответственно), найденных в таких условиях. Это позволило количественно проанализировать зависимость таксономического обилия свободноживущих и паразитических животных от уровня солености места обитания. Уникальность этих результатов заключается в рассмотрении количественной зависимости для каждого таксона животных в отдельности, а не только интегральной зависимости, как делалось ранее. Полученные уравнения зависимости во всех случаях подобны, что говорит о наличии механизма, который до конца не выявлен. В следующей главе, на основе балансово-энергетического подхода, сделана попытка найти некие общие причины, обуславливающие подобные зависимости. В результате этого выявлено, что общие причины, ограничивающие таксономическое богатство существуют, однако необходимы дальнейшие исследования в этом направлении. Показано, что в гиперсоленых водах отдельные виды животных могут достигать очень высокой численности, обсуждены причины этого. Полученные зависимости будут полезны гидробиологам широкого профиля, зоологам и физиологам при рассмотрении влияния солености на организмы, их популяции и сообщества.

В **Главе 6** соискатель проанализировала экологию и экосистемную роль животных в гиперсоленых водоемах. Определены причины влияния солености на видовое обилие, размерную структуру, длину трофических цепей и т.д. Выдвинуты важные суждения, объясняющие найденный эмпирически зависимости, ряд из которых подтвержден только косвенными данными. Очень интересен материал и сделанные на его основе заключения, показывающие влияние отдельных видов животных на циклы кальция и ртути в гиперсоленых водоемах. Используются данные как собственных экспериментов, так и литературные. Подняты новые вопросы, еще не имеющие объяснения, что, на взгляд

оппонента, лишь повышает ценность работы. В целом эта ключевая глава очень полезна, отличается новизной и дает много пищи для рассуждений.

В Главе 7, описывающей только прикладные аспекты, проанализированы перспективы развития аквакультуры в гиперсоленых водах. Показано, что для этого имеется большой потенциал, а также составлен список видов животных, которых можно использовать в этих целях.

Формулировки **выводов** вытекают из поставленных задач работы, они подкреплены данными и логическими рассуждениями.

Как и во всяком комплексном исследовании, в представленной работе можно отметить и ряд недостатков.

К недостаткам работы отношу следующее:

1. Количество затронутых вопросов в диссертации очень велико, вследствие этого не все они освещены в равной степени. С одной стороны это помогает увидеть и оценить весь спектр задач и ширину темы, а с другой оставляет определенную недосказанность в рассмотрении ряда частных вопросов. Можно предполагать, что в определенной мере это не недостаток работы, а план будущих исследований соискателя.

2. К сожалению, адаптационные механизмы затронуты вскользь, их интегральный анализ мог бы украсить работу, сделав ее еще более фундаментальной. Особенно интересным представляется вопрос об альтернативности экспрессии генов *Artemia*, а именно, переключении генно-регуляторных механизмов при изменении солености и увеличении трат энергии, затронутый в работе лишь поверхностно.

3. Ряд утверждений автора следовало бы рассматривать с позиции гипотез, поскольку они не в полной мере подкреплены приведенными в работе данными. Примером может служить вывод о возрастании роли растворенной органики в питании животных в гиперсоленой среде. Однако в этих случаях приводятся надежные косвенные данные и адекватные логические рассуждения. Данное обстоятельство также не может вести к понижению оценки работы в целом.

4. В работе присутствуют грамматические опечатки и стилистические ошибки, которые автор при вычитывании рукописи не заметила.

В целом же, имеющиеся мелкие недочеты не снижают общую высокую оценку работы, которая является целостным обобщением, вносящим существенный вклад в понимание общих особенностей уникальных экосистем, их высокого продукционного потенциала и трансформируемости.

Научная новизна работы заключается, в частности, в том, что впервые установлен общий тип зависимости видового разнообразия отдельных таксонов животных от солености, показана зависимость верхнего предела соленостной толерантности видов от условий питания, а не только от их физиологических особенностей, так же определено, что опосредованное влияние солености через среду обитания может быть более значимо, чем ее прямое воздействие на физиологические процессы в организме.

Результаты работы можно использовать для развития аквакультуры, в том числе с использованием рассолов, образующихся при опреснении морской воды. Обширный объем результатов собственных полевых и экспериментальных исследований, адекватный анализ полученных данных, большой объем использованных опубликованных материалов других исследователей свидетельствует о достоверности представленных результатов, выводов и положений, а также о высокой квалификации соискателя.

Автореферат в полной степени отражает основные положения диссертации, представляя доказательную базу, заключения и выводы. Выносимые на защиту положения соответствуют результатам и выводам автора. Материалы соискателя широко апробированы на международных конференциях в 10 странах. Результаты диссертации опубликованы в 62 статьях, в изданиях входящих в список ВАК, 32 из которых в журналах 1 и 2 квартилей, индексируемых в базах данных WoS и Scopus, что также свидетельствует о высоком уровне работы.

Диссертационная работа Ануфриевой Елены Валерьевны «Разнообразие и роль животных в структуре, функционировании и динамике экосистем гиперсоленых вод» в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор Ануфриева Елена Валерьевна заслуживает присуждения учёной степени доктора биологических наук по специальности 1.5.16 (03.02.10) – гидробиология.

Доктор биологических наук,  
директор Научно-исследовательского института  
биологии ФГБОУ ВО «Иркутский государственный  
университет», заведующий лабораторией «Стресс-  
физиологии и перспективных биотехнологий»,  
профессор кафедры гидробиологии и зоологии  
беспозвоночных биолого-почвенного факультета  
Иркутского государственного университета



Тимофеев Максим Анатольевич

Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 3.  
<http://www.bioinstitute.ru>  
Тел. (3952) 24-30-77  
Email: m.a.timofeyev@gmail.com



В диссертационный совет Д 002.036.02  
при Институте биологии внутренних  
вод  
им. И.Д. Папанина РАН

Я, **Тимофеев Максим Анатольевич**, даю согласие выступить официальным оппонентом по диссертации **Ануфриевой Елены Валерьевны** на тему «**Разнообразие и роль животных в структуре, функционировании и динамике экосистем гиперсоленых вод**», представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности **1.5.16 – Гидробиология**.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ ОППОНЕНТЕ

1. Ученая степень, ученое звание, отрасль науки и научная специальность, по которой защищена диссертация: доктор биологических наук, экология (биология), профессор кафедры гидробиологии и зоологии беспозвоночных биолого-почвенного факультета Иркутского государственного университета.
2. Место работы (полное наименование организации): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет».
3. Сокращенное наименование организации: ФГБОУ ВО «ИГУ»
4. Почтовый адрес организации с указанием индекса: Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1.
5. Адрес официального сайта в сети Интернет: <http://www.isu.ru>
6. Название структурного подразделения: Научно-исследовательский институт биологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет».
7. Должность: директор, заведующий лабораторией.
8. Телефон с указанием кода города: (3952) 24-30-77, 521-555
9. Адрес электронной почты: [m.a.timofeyev@gmail.com](mailto:m.a.timofeyev@gmail.com)
10. Список основных публикаций по профилю оппонируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1. Bedulina D, Drozdova P, Gurkov A, von Bergen M, Stadler PF, Luckenbach T, Timofeyev M, Kalkhof S. 2021. Proteomics reveals sex-specific heat shock response of Baikal amphipod *Eulimnogammarus cyaneus*. *Science of the Total Environment*, 763: 143008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143008>
2. Pilla RM, Williamson CE, Adamovich BV, Adrian R, Anneville O, Chandra S, Colom-Montero W, Devlin SP, Dix MA, Dokulil MT, Gaiser EE et al. 2020. Deeper waters are changing less consistently than surface waters in a global analysis of 102 lakes. *Scientific Reports*, 10(1): 1-5. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76873-x>
3. Ozersky T, Nakov T, Hampton SE, Rodenhouse NL, Woo KH, Shchapov K, Wright K, Pislegina HV, Izmet'eva LR, Silow EA, Timofeev MA. 2020. Hot and sick? Impacts of warming and a parasite on the dominant zooplankton of Lake Baikal. *Limnology and Oceanography*, 65(11): 2772-2786.
4. Lubyaga Y, Trifonova M, Drozdova P, Gurkov A, Madyarova E, Axenov-Gribanov D, Kurashov E, Vereshchagina K, Shatilina Z, Timofeyev M. 2020. Invader amphipods *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) inhabiting distant waterbodies demonstrate differences in tolerance and energy metabolism under elevated temperatures. *Journal of Great*

- Lakes Research, 46(4): 899-909. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.05.011>
5. Drozdova P, Madyarova E, Dimova M, Gurkov A, Vereshchagina K, Adelshin R, Timofeyev M. 2020. The diversity of microsporidian parasites infecting the Holarctic amphipod *Gammarus lacustris* from the Baikal region is dominated by the genus *Dictyocoela*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 170: 107330. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107330>
  6. Axenov-Gribanov DV, Bedulina DS, Shirokova YA, Emshanova VA, Lubyaga YA, Vereshchagina KP, Saranchina AE, Pobezhimova TP, Timofeyev MA. 2019. Diet influence on mechanisms of non-specific stress-response in Baikal endemic amphipod species during long-term laboratory exposure. *Crustaceana*, 92(11-12): 1349-1368. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003951>
  7. Drozdova P, Rivarola-Duarte L, Bedulina D, Axenov-Gribanov D, Schreiber S, Gurkov A, Shatilina Z, Vereshchagina K, Lubyaga Y, Madyarova E, Otto C et al. 2019. Comparison between transcriptomic responses to short-term stress exposures of a common Holarctic and endemic Lake Baikal amphipods. *BMC Genomics*, 20(1): 1-4. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6024-3>
  8. Gurkov A, Rivarola-Duarte L, Bedulina D, Fernández Casas I, Michael H, Drozdova P, Nazarova A, Govorukhina E, Timofeyev M, Stadler PF, Luckenbach T. 2019. Indication of ongoing amphipod speciation in Lake Baikal by genetic structures within endemic species. *BMC Evolutionary Biology*, 19(1): 1-6. <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1470-8>
  9. Vereshchagina K, Kondrateva E, Axenov-Gribanov D, Shatilina Z, Khomich A, Bedulina D, Zadereev E, Timofeyev M. 2018. Nonspecific stress response to temperature increase in *Gammarus lacustris* Sars with respect to oxygen-limited thermal tolerance concept. *PeerJ*, 6: e5571. <https://doi.org/10.7717/peerj.5571>
  10. Gurkov A, Borvinskaya E, Shchapova E, Timofeyev M. 2018. Restraining small decapods and amphipods for in vivo laboratory studies. *Crustaceana*, 91(5): 517-525. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003778>
  11. Bowman LL, Kondrateva ES, Timofeyev MA, Yampolsky LY. 2018. Temperature gradient affects differentiation of gene expression and SNP allele frequencies in the dominant Lake Baikal zooplankton species. *Molecular Ecology*, 27(11): 2544-2559. <https://doi.org/10.1111/mec.14704>
  12. Volkova EK, Yanina IY, Popov AP, Bykov AV, Gurkov AN, Borvinskaya EV, Timofeyev MA, Meglinski IV. 2017. Ecophotonics: assessment of temperature gradient in aquatic organisms using up-conversion luminescent particles. *Quantum Electronics*, 47(2): 153. <https://doi.org/10.1070/QEL16141>
  13. Hampton SE, Galloway AW, Powers SM, Ozersky T, Woo KH, Batt RD, Labou SG, O'Reilly CM, Sharma S, Lottig NR, Stanley EH et al. 2017. Ecology under lake ice. *Ecology Letters*, 20(1): 98-111. <https://doi.org/10.1111/ele.12699>

директор Научно-исследовательского  
института биологии ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет»,  
заведующий лабораторией «Стресс-  
физиологии и перспективных  
биотехнологий», профессор кафедры  
гидробиологии и зоологии беспозвоночных  
биолого-почвенного факультета Иркутского  
государственного университета,  
доктор биологических наук

Дата 17.02.2022 г.

Максим Анатольевич Тимофеев

Подпись М. А. Тимофеева заверена  
Учредителем ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»  
Учредитель ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»  
Иркутский государственный университет

