

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Крылова Вячеслава Владимировича
«Влияние естественных и антропогенных низкочастотных магнитных полей на гидробионтов», представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология

Диссертационная работа Вячеслава Владимировича Крылова посвящена одной из актуальных задач гидробиологии, касающейся изучению закономерностей взаимодействия водных гидробионтов с абиотическими факторами. К числу наименее изученных абиотических факторов, с которыми сталкиваются гидробионты в морских и континентальных водоемах разных типов, относятся слабые низкочастотные магнитные поля естественного и антропогенного происхождения. Оба фактора практически беспрепятственно проникают вглубь водоемов и практически не имеет выраженного дозозависимого характера на биологические объекты разного уровня организации. Это не позволяет установить пределы толерантности гидробионтов к данным физическим факторам водной среды.

Существует предположение, что среди магнитных флуктуаций естественного происхождения наибольшей биологической эффективностью обладают геомагнитные бури — глобальные возмущения геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток, вызванные изменениями в магнитосферно-ионосферной токовой системе. Известно о значимых корреляциях между индексами геомагнитной активности, отражающими геомагнитные возмущения, и поведенческими, физиологическими и биохимическими показателями гидробионтов из разных таксономических и экологических групп. Однако до сих пор нет твердой уверенности в том, что именно возмущения геомагнитного поля являются значимым экологическим фактором для водных организмов. В естественных условиях геомагнитную бурю часто сопровождают изменения интенсивности потока заряженных частиц и усиление инфразвуковых колебаний. Геомагнитные бури представляют собой суперпозицию множества переменных магнитных полей естественного происхождения. Их комбинации в каждом случае уникальны из-за стохастических процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой и ионосферой Земли. Это крайне усложняет оценку вклада отдельных составляющих геомагнитной бури в формирование биологического отклика. Для решения этой проблемы и верификации обнаруженных ранее корреляций между геомагнитными возмущениями и различными показателями функционирования водных экосистем необходимы лабораторные эксперименты с наличием синхронного контроля. Точное воспроизведение сигнала геомагнитной бури — технически

непростая задача, по этой причине экспериментального изучения влияния возмущений геомагнитного поля на гидробионтов не проводилось. Принципы и механизмы, лежащие в основе биологических эффектов геомагнитных бурь, остаются неисследованными.

В отличие от геомагнитных бурь, регистрируемых повсеместно, низкочастотные магнитные поля антропогенного происхождения появились сравнительно недавно в эволюционной истории, локализованы вблизи источников (крупные города, промышленные центры) и имеют широкий разброс по частоте и амплитуде. В последние годы воздействие этого фактора на водные экосистемы становится более масштабным. В научной литературе имеются немногочисленные данные о влиянии низкочастотных магнитных полей на гидробионтов. Экологические риски для водных организмов, связанные с увеличением интенсивности антропогенных низкочастотных магнитных полей, оценены недостаточно. Предложенные механизмы влияния слабых низкочастотных магнитных полей на биологические объекты пока остаются гипотетическими моделями с различной степенью обоснованности. Большинство опубликованных экспериментальных работ – это разрозненные исследования, выполненные с использованием различных объектов, магнитных полей и методик, что не позволяет провести полноценный сравнительный анализ полученных данных. При этом четкой информации о воздействия слабых низкочастотных магнитных полей на гидробионтов крайне мало. В связи с вышесказанным, **актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.**

Цель работы заключалась в исследовании воздействия геомагнитной бури и низкочастотных магнитных полей на пресноводных беспозвоночных и рыб для установления принципов и выяснения закономерностей влияния этих экологических факторов на гидробионтов. **Цель и название диссертационной работы адекватны ее содержанию.**

Диссертация общим объемом 316 страниц, состоит из введения, семи глав, заключения, выводов, списка литературы и списка сокращений. Работа содержит 37 рисунков и 38 таблиц. Список литературы включает 453 источников, в том числе 317 на иностранном языке.

Во «**Введении**» аргументировано обосновывается актуальность, цель и задачи выполненной работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приводятся данные о степени изученности темы.

Глава 1 (62 страницы) посвящена многоплановому обзору литературы по влиянию слабых низкочастотных магнитных полей естественного и антропогенного происхождения на биологические объекты разного уровня организации. Проведенный анализ наглядно демонстрирует глубокие познания и эрудицию автора. Основные вопросы, рассматриваемые

в обзоре, касаются 5 разных направлений проводимого анализа, в которых достаточно полно и подробно излагаются современные данные, это: магнитные поля в водных экосистемах (3 стр.), влияние слабых низкочастотных магнитных полей на гидробионтов (3 стр.), влияние геомагнитной активности на биологические объекты (29 стр.), Механизмы влияния слабых постоянных и низкочастотных магнитных полей на биологические объекты (13 стр.) и возможные механизмы влияния геомагнитной активности на организмы (13 стр.). Каждый из этих разделов освещен в неодинаковой степени детализации в связи с решаемыми в диссертации задачами. Все вопросы, рассмотренные в литературном обзоре, имеют прямое отношение к данной теме диссертации. Заключая эту главу, автор приходит к выводу, что несмотря на ощутимое увеличение публикаций в этом направлении в последние годы, исследователи лишь приближаются к однозначному пониманию принципов и механизмов влияния слабых постоянных и низкочастотных магнитных полей на биологические объекты.

Глава 2 «Материалы и методы» (24 стр.) написана весьма подробно, содержит все необходимые методические сведения и показывает высокую методическую подготовку и компетентность автора в выполненной работе. Приведено описание объектов исследования, магнитных полей, генерируемых во время экспериментов, и контрольных условий. Изложены экспериментальные процедуры, описаны оцениваемые биологические показатели и применяемые методы статистической обработки данных. Количество использованных методов достаточно велико и включает как традиционные, так и современные методы клеточной биологии. В качестве объектов исследования были выбраны разные представители гидробионтов (**4 вида карловых рыб** (Cyprinidae): плотва обыкновенная *Rutilus rutilus* L., лещ обыкновенный *Aramis brama* L., карп обыкновенный *Cyprinus carpio* L., карась серебряный *Carassius gibelio* Bloch; **1 вид ветвистоусых ракообразных** (Daphniidae) - дафния большая *Daphnia magna* Straus; и **1 вид брюхоногих моллюсков** (Lymnaeidae) - прудовик обыкновенный *Lymnaea stagnalis* L., показавшие ранее свою чувствительность к магнитным воздействиям Все использованные методы адекватны для достижения цели и задач, поставленных в работе. Детальность изложения в этом разделе не оставляет сомнений в полном владении автором всеми приведенными методами исследования.

Главы 3, 4 и 5 посвящены исследованию реакций гидробионтов на действие имитации геомагнитных бурь, низкочастотных магнитных полей и гипомагнитных условий соответственно. Описано влияние указанных факторов на показатели митотической

активности зародышевых клеток, раннее развитие и формирование морфологических признаков у карловых рыб, на активность гликозидаз и протеиназ пресноводных ракообразных, моллюсков и рыб, а также на морфометрические и продукционные показатели *D. magna*. В конце каждого раздела в этих главах автор обсуждает полученные им результаты с имеющимися данными в литературе.

После обсуждения все полученных результатов в этих главах автор делает очень важное заключение (стр. 167-168): «негативное воздействие НЧ МП.... заметно усиливалось в комбинации с другими неблагоприятными факторами различной природы. Это указывает на необходимость учета влияния электромагнитного загрязнения на гидробионтов в естественных экосистемах в условиях дополнительной антропогенной нагрузки (загрязнение водоемов токсикантами органической и неорганической природы) и потепления климата».

В Главе 6 описаны результаты исследования биологических эффектов отдельных временных промежутков и частотных составляющих имитации геомагнитной бури. Показано, что экспозиция эмбрионов плотвы в ИГМБ, **включающей все фазы**, приводила к снижению размерно-массовых показателей и перераспределению числа позвонков между переходным и хвостовым отделами позвоночника. Экспозиция эмбрионов плотвы в отрезке ИГМБ, включающем **только фазу восстановления**, не сказалась на размерно-массовых показателях сеголетков, но привела к перераспределению числа позвонков между грудным и хвостовым отделами позвоночника и к увеличению числа отверстий в каналах сеймосенсорной системы на нижнечелюстных и предкрышечных костях черепа.

У эмбрионов *D. magna* экспозиция воздействие в отрезке ИГМБ, соответствующем главной фазе и начальным этапам фазы восстановления, приводила к увеличению их смертности.

Аналогичное воздействие приводило к снижению протеолитической активности ферментов в слизистой оболочке кишечника у карпа и к снижению амилолитической активности пищеварительных ферментов у карася.

Для исследования биологических эффектов отдельных частотных составляющих ИГМБ был использован трёхкомпонентный широкополосный сигнал сильной геомагнитной бури, зарегистрированный 30-31 октября 2003 г., а также две составляющих этого сигнала: одна – в диапазоне 0-0.001 Гц, другая – в диапазоне 0.001-5 Гц. Автором убедительно показано, что в составе сложного сигнала геомагнитной бури значимое воздействие на гидробионтов оказывают медленные изменения напряженности геомагнитного поля во время

геомагнитной бури в диапазоне 0-0.001 Гц, соответствующие главной фазе и начальным этапам фазы восстановления. В этом же диапазоне, как известно, происходит и регистрация суточной геомагнитной вариации. На основании этого автор приходит к заключению, что геомагнитная активность, может восприниматься биологическими объектами как нарушение суточной геомагнитной вариации.

Глава 7 посвящена оценке роли суточной геомагнитной вариации в возникновении биологических эффектов геомагнитной активности. В этом разделе выявлено, что экспозиция эмбрионов плотвы в условиях смещения суточной геомагнитной вариации на 6 и 12 часов относительно смены дня и ночи приводила к стимуляции пролиферации зародышевых клеток, к увеличению двигательной активности у личинок и молоди, и увеличению размерно-массовых показателей, перераспределению числа позвонков между грудным и хвостовым отделами позвоночника, а также к увеличению числа отверстий в каналах сеймосенсорной системы на *dentale* и *praeoperculum* у сеголетков плотвы.

Биологические эффекты, обнаруженные при исследовании влияния на гидробионтов смещения суточной геомагнитной вариации относительно смены дня и ночи, были подобны эффектам ИГМБ и зависели от синхронизации главной фазы с суточной геомагнитной вариацией. Эти данные экспериментально подтверждают гипотезу о том, что геомагнитные бури воспринимаются организмом как нарушение регулярных флюктуаций суточной вариации геомагнитного поля.

Характеризуя диссертацию Крылова в целом, необходимо отметить, что научные положения и выводы диссертационной работы хорошо обоснованы и базируются на огромном объеме оригинальных данных, полученных в экспериментах с пресноводными рыбами, моллюсками и ракообразными. Исследования выполнены с привлечением широкого спектра современных методов, что позволило получить ответы гидробионтов на примененные воздействия на разных уровнях организации биологических объектов. Данные обработаны с помощью адекватных статистических методов. При этом число экспериментальных повторностей и объемы выборок достаточны для проверки выдвигаемых гипотез. Полученные данные интерпретированы грамотно. Для обсуждения результатов привлечены как фундаментальные работы, так и недавние публикации из авторитетных научных источников.

Уникальность и новизна диссертационной работы заключается, прежде всего, в том, что одними и теми же методами были исследованы реакции модельных видов гидробионтов

на три различных магнитных воздействия: синусоидальные антропогенные магнитные поля, имитацию естественных сверхнизкочастотных колебаний и магнитный вакуум. Впервые на достаточном количестве материала была показана тождественность биологических эффектов низкочастотных магнитных полей антропогенного и естественного происхождения и особенности реакций гидробионтов на пребывание в гипомагнитных условиях.

Собственно, и сама точная имитация геомагнитных возмущений была впервые проведена в рамках данной работы. В известных мне опубликованных ранее работах, сигналы, воспроизводимые как «имитациях геомагнитных возмущений», не соответствовали магнитограммам, полученным в геофизических обсерваториях. В этой связи вторым, но не менее важным, аспектом, отражающим новизну диссертационной работы, является экспериментально подтвержденное выделение биологически эффективной временной и частотной составляющих в сигнале геомагнитной бури.

Результаты работы экспериментально подтверждают представление о том, что медленные изменения напряженности геомагнитного поля во время геомагнитной бури воспринимаются гидробионтами как флюктуации, связанные с суточной геомагнитной вариацией – предполагаемым вторичным водителем биологических циркадных ритмов. Таким образом, диссертационное исследование впервые позволяет рассуждать об экспериментально подтвержденных принципах и надмолекулярных механизмах воздействия геомагнитной активности на биологические объекты.

Закономерности, обнаруженные автором работы, легли в основу запатентованного способа предотвращения негативных медико-биологических эффектов геомагнитных бурь. Представленные в диссертации результаты указывают на то, что для дальнейшего применения традиционных методов гелиобиологических исследований необходимо учитывать суточную геомагнитную вариацию. В случае подтверждения участия криптохромов в процессах синхронизации биологических циркадных ритмов с суточной геомагнитной вариацией, результаты диссертационной работы могут стать основой нового перспективного направления исследований — изучения эволюции функции молекулярных систем, отвечающих за биологическую магнитодетекцию. Таким образом, теоретическое и практическое значение работы несомненно.

Результаты работы опубликованы в престижных российских и зарубежных рецензируемых журналах, включая издания из первого и второго квартилей Web of Science и Scopus, и активно цитируются российскими и зарубежными коллегами.

При рассмотрении диссертационной работы возникло несколько замечаний и пожеланий:

1. В разделе «Материал и методы» автор пишет: «Выбор объектов исследований из разных таксономических групп позволил получить широкую картину биологических реакций и оценить универсальные ответы живых систем на применённые воздействия, исключив возможные видоспецифичные реакции». Мне кажется, что такой выбор объектов не может исключить возможные видоспецифичные реакции, проявляющиеся как в специфики биологических ответов на разные дозы действующих факторов, их продолжительности и интенсивности и т.п. Тем более, что в работе отдельные показатели используются в большинстве случаев только индивидуально для определенного вида. Например: цитогенетический анализ на тотальных давленых препаратах зародышевых клеток плотвы и леща; **оценка** показателей развития эмбрионов и размерно-массовых показателей у предличинок только плотвы; **оценка** морфологических показателей у сеголетков – только у плотвы; **оценка** продукционных и морфологических показателей, оценка темпов развития и смертности развивающихся эмбрионов, оценка активности супероксиддисмутазы и содержания малонового диальдегида в гомогенатах тела – все только у *D. magna*. То же самое и в отношении влияния магнитных бурь на поведенческие реакции в крестообразном лабиринте – опять же все только сделано на одном виде - плотве.

2. В разделе 3.2.2. приведены данные динамики смертности и продолжительности вылупления эмбрионов плотвы в контроле и при воздействии ИГМБ. Обращает на себя внимание разная динамика смертности в разные годы. Автор объясняет это снижением температуры воды: «...Нетипичная динамика смертности эмбрионов в 2011 г., вероятнее всего, была связана с понижением температуры воды во время инкубации. Характерная для первой половины мая температура 16-17⁰С – после оплодотворения икры сменилась похолоданием до 14.5⁰С. По этой причине мы не наблюдали массовой гибели зародышей в течение первых 24 ч развития.» Однако, как хорошо известно, темп эмбрионального развития зависит от температуры и при ее снижении наблюдается значительное снижение темпа развития, что всегда приводит к значительной задержке вылупления эмбрионов. Однако на рис. 3.3 видно, что процесс вылупления в 2011 и 2012 гг начинается (140-150 ч) и заканчивается (240-260ч) примерно в одно и то же время, что не соответствует заключению автора по этому вопросу. Тем более, что в 2011г в контрольной группе процесс вылупления начинается даже раньше на несколько часов, чем в 2012г. Как мне кажется, такие различия обусловлены исходно разным «рыбоводным качеством» икры: при высоком проценте

оплодотворения отсутствует массовая гибель (в 2010 и 2012 гг до 60%) эмбрионов в первые 24ч после оплодотворения (в 2011г гибель всего около 10%). И только после 24ч после оплодотворения наблюдается постепенное увеличение гибели эмбрионов в контроле. Именно поэтому выживаемость эмбрионов в 2011 в контроле к моменту вылупления составила порядка 70 %, а в 2010 и 2012 гг не превышала 40%. Следует отметить, что в следующей главе в разделе 4.1.3. автор все же приходит к предположению о возможности влияния качества половых продуктов на проявление эффекта воздействия НЧ МП. При этом он пишет: «...Можно предположить, что эмбрионы, развившиеся в отдельные годы наблюдений из более качественных половых продуктов и обеспеченные всеми необходимыми ресурсами, были более устойчивы к относительно слабому воздействию НЧ МП. Если не учитывать это допущение, то полученные результаты не позволяют однозначно говорить о влиянии НЧ МП на выживаемость эмбрионов плотвы». Хотя на мой взгляд, в главе 3 (раздел 3.2.2.) этот эффект выражен значительно четче и ярче, чем в главе 4 (раздел 4.1.3.).

Исходя из этого, автору в дальнейшей работе следует обратить особое внимание на то, что исходно разное «рыбоводное качество» икры в значительной степени влияет на результаты воздействия как ИГМБ, так и НЧ МП.

3. При разной температуре воды в экспериментах автор не использует стандартную величину τ_0 и соотношение τ / τ_0 , принятые в эмбриологии (и у рыб в том числе), позволяющие судить о скорости развития эмбриона при разной температуре. Это приводит к тому, что выделенные автором временные интервалы воздействия ИГМБ (0-24, 24-48, 48-72 и 72-96 часов после оплодотворения) при разных темпах эмбрионального развития в разные годы соответствуют совершенно разным стадиям эмбрионального развития, имеющие разную чувствительность к внешним воздействиям. Так например, в 2010 г, когда темп развития был высоким, продолжительность развития от оплодотворения до окончания вылупления составляла примерно 145 часов, а в 2011, 2012 гг, когда темп развития был значительно ниже - 235-250 часов (рис. 3.3). Если для развития дафний в соответствующих разделах диссертации приведены фотографии основных стадий развития, то для рыб они отсутствуют, что значительно затрудняет интерпретацию полученных данных при сравнительном анализе.

4. Данные таблицы 4.2. в разделе 4.1.2 указывают на то, что значимое по сравнению с контролем уменьшение размеров сеголетков плотвы после инкубации эмбрионов при сочетанном действии низкочастотных магнитных полей и неблагоприятных факторов среды, происходит за счет статистически значимого снижения длины хвостового стебля (как абсолютной, так и относительной – 6-ой и 9-ый столбцы таблицы). При этом число позвонков в хвостовом отделе позвоночника у рыб из этих групп близко к контрольному. На мой взгляд, это довольно интересный эффект, заслуживающий внимания и отдельного обсуждения.

5. При описании результатов изучения влияния магнитных полей на активность гликозидаз и протеиназ гидробионтов (Главы 3-5) часть данных приведена в виде столбчатых диаграмм, часть в виде таблиц. Эти результаты воспринимались бы лучше, при использовании единой формы представления: табличной или графической. Для более четкого восприятия полученных результатов во всей диссертации в тексте желательно оставить только графический материал, а все таблицы перенести в раздел «Приложения».

6. На основе полученных данных автором разработан способ предотвращения негативных медико-биологических эффектов геомагнитных бурь в ограниченном объеме, заключающийся в компенсации медленных изменений геомагнитного поля во время геомагнитной бури в диапазоне частот 0–0.01 Гц. При этом для предотвращения нарушений циркадных биологических ритмов сохраняется суточная вариация геомагнитного поля. Данный способ является одним из основных результатов работы, имеющих прикладное значение. Было бы неплохо описать его подробнее, а не ограничиваться упоминанием номера патента.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и несут, скорее, рекомендательный характер.

Диссертационная работа **Вячеслава Владимировича Крылова** представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. По актуальности, новизне и достоверности полученных материалов, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций рассматриваемая диссертационная работа соответствует критериям, установленным в пунктах 9 и 10 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» утверждённого Постановлением Правительства Российской

федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор **Крылов Вячеслав Владимирович** несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 - гидробиология.

доктор биологических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник кафедры ихтиологии
биологического факультета Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В.Ломоносова»

 Бурлаков Александр Борисович

Подпись Бурлакова Александра Борисовича заверяю:

Декан биологического факультета
Федерального государственного бюджетного
Образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»
академик РАН

 М.П.Кирпичников

22 января 2019 г.



119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
Биологический факультет МГУ
Тел. (495)939-27-76, (495)939-40-92
E-mail: burlakova@mail.ru



В диссертационный совет Д 002.036.02

При Институте биологии внутренних вод

им. И.Д. Папанина РАН

Я, Бурлаков Александр Борисович, даю согласие выступить официальным оппонентом диссертации Крылова Вячеслава Владимировича на тему «Влияние естественных и антропогенных низкочастотных магнитных полей на гидробионтов», представленной на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОППОНЕНТЕ

- 1.1. Учёная степень: доктор биологических наук
- 1.2. Учёное звание: профессор
- 1.3. Отрасль науки и научная специальность, по которой защищена диссертация: ихтиология - 03.02.06, биология развития, эмбриология – 03.03.05
2. Место работы (полное наименование организации): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
3. Сокращенное наименование организации: «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
4. Почтовый адрес организации с указанием индекса: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, стр. 12, Биологический факультет
5. Адрес официального сайта в сети Интернет: <http://www.bio.msu.ru/>
6. Название структурного подразделения: кафедра ихтиологии
7. Должность: ведущий научный сотрудник
8. Телефон с указанием кода города: (495) 939-27-76 (495) 939-40-92
9. Адрес электронной почты: info@mail.bio.msu.ru, burlakova@mail.ru
10. Список основных публикаций по профилю оппонируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):
 1. Девицина Г.В. , Юркевич Е.В. , Бурлаков А.Б. , Головкина Т.В. 2013. Анализ процессов биогенеза в системе типа «паразит-хозяин» на примере бактериальных наноформ в эпителиальной ткани рыб//Технология живых систем, Т.10. №9. С. 14-23.
 2. Бурков В.Д., Бурлаков А.Б., Капранов Ю.С., Куфаль Г.Э., Перминов С.В., Першин И.М., Шалаев В.С. 2013. Влияние электромагнитных полей на конфигурацию биологических объектов // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. Т.99. Вып.7. С.54-61
 3. Бурлаков А.Б., Бурлакова О.В., Голиченков В.А., Королев Ю.Н. 2014. Роль оболочек зародышей амфибий в адаптации организма к внешним воздействиям // Сложные системы. № 3. С. 32-47.
 4. Бурлаков А.Б.. Особенности формирования в гонадотропоцитах гипофиза овуляторной волны гонадотропина при искусственном воспроизведстве рыб с высокой плодовитостью // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т 1. № 1 (1). С.126-133.
 5. Бурлаков А. Б., Кузьмин В. И., Гадзаов А. Ф., Тытик Д. Л., Касаткин В. Э., Слепцоваа Л. А. Кинетика окислительно-восстановительного потенциала среды инкубации в период раннего развития вынона *Misgurnus fossilis* // Онтогенез. 2017. том 48. № 1. С. 28–38.
 6. Бурлаков А.Б., Чернова Г.В., Бабкина В.В., Сидоров П.В., Эндебера О.П. Изменчивость морфологических признаков как проявление эффектов излучения крайне высокой частоты и их оценка в биоинформационной контексте // Биомедицинская радиоэлектроника 2017. №1. С.44-50
 7. Burlakov A.B., Kuzmin V.I., Gadzaov A.F., Tytik D.L., Kasatkin V.E., Sleptsova L.A. Redox Potential Kinetics of the Incubation Medium during Early Development Stages of *Misgurnus fossilis* Loach // Russian Journal of Developmental Biology, издательство Springer Verlag (Germany), 2017. V. 48, № 1, P. 23-33

8. Бурлаков А.Б. Технология формирования овуляторной волны гонадотропина в гонадотропоцитах гипофиза у рыб, размножающихся в экстремальных условиях // Технология живых систем. 2017. Т.14. №2. С.44-51.
9. Бурлаков А.Б., Бурлакова О.В., Голиченков В.А. Влияние врачающегося магнитного поля на эмбриональное развитие вынона, *Misgurnus fossilis* // Биомедицинская радиоэлектроника, 2017. № 12, с. 31-36/
10. Бурлаков А.Б. Влияние слабых и сверхслабых полей на биологические объекты разного уровня организации // Открытое образование, 2017. Т. 21, № 5, С. 16-24
11. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф., Бурлаков А.Б., Тытик Д.Л., Касаткин В.Э., Бусев С.А. Моделирование критических периодов развития вынона *Misgurnus fossilis* по кинетике изменения окислительно-восстановительного потенциала среды инкубации на основе пропорции Кирквуда // Технологии живых систем. 2018. №2, С.35-42
12. Бурлаков А.Б. Особенности формирования овуляторной волны гонадотропина в гонадотропоцитах гипофиза у рыб с высокой плодовитостью // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58. № 2. С.215-222.
13. Burlakov A.B. Features of the Formation of an Ovulatory Wave of Hypophysis Gonadotropins in High Fecundity Fish // Journal of Ichthyology, 2018, V. 58(2), P.239-247

д. б. н., профессор,
ведущий научный сотрудник
кафедры ихтиологии
биологического факультета МГУ

Бурлаков Александр Борисович

14.11.2018 г.

ур. Серебряные

лес

ЕВД

ПОДПИСЬ ВЪЗМОЖНА
ЗАВЕРШАТЬ



ДОКУМЕНТЫ ПОДДАЧИВАЮЩИХСЯ
ПОДПИСЬ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МГУ