



# Central European Journal of Zoology

Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019. 5(1). Issued once a year

## EDITORIAL BOARD

**Bityukov Nikolai** – Sochi State University, Russian Federation, Sochi, Russian Federation (Editor in Chief)

**Atique Usman** – Chungnam National University, Daejeon, South Korea

**Bensouilah Taqiyeddine** – University of Badji Mokhtar, Annaba, Algeria

**Khasanova Alfiya** – Naberezhnye Chelny State Pedagogical University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation

**Mchedluri Tea** – Telavi State University, Telavi, Georgia

**Simonovich Elena** – Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Journal is indexed by: **OAJI, MIAR**

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1367/4, Stara Vajnorska str.,  
Bratislava – Nove Mesto, Slovakia, 831 04

Release date 01.09.19  
Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal40.com/>  
E-mail: [aphr.sro@gmail.com](mailto:aphr.sro@gmail.com)

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing  
House Researcher s.r.o.

Order № CEJZ-5

Central European Journal of Zoology

2019

Is.

1

## CONTENTS

### Articles

Precision Nanoscale (Nanovoltmetric and Nanoammetric) Carrier Wave Analysis for Quantitative Bioacoustics Eu.D. Adamovich, O.V. Gradov .....	3
Analog Non-Coherent Spectrozonol Lens-less Microscopy of <i>Hydra</i> sp. (Phylum <i>Cnidaria</i> , Class <i>Hydrozoa</i> ) with combined Raster Scan and Cross-Band Shifting O.V. Gradov .....	24
Biochemical Changes in Blood of African Catfish ( <i>Clarias Gariepinus</i> Burchell, 1822) during Artificial Spawning Using Different Doses of Human Chorionic Gonadotropin (HCG) Hormone S.R.S. Zidan, H.H.E. Saleh, A.I. Semaida, R.M. Abou-Zied, S.M. Allam .....	46

### Letter to the Editor

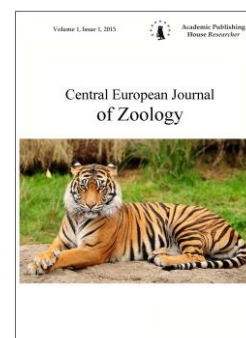
Russian Zoological Museum: the Replenishment of Mammals' Funds in 1895–1896 V.I. Brikonov .....	55
The Entomometry: from Sensu Stricto towards Sensu Lato S.K. Pankratov .....	60

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
Central European Journal of Zoology  
Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019, 5(1): 3-23

DOI: 10.13187/cejz.2019.1.3

[www.ejournal40.com](http://www.ejournal40.com)

## Articles

### Precision Nanoscale (Nanovoltmetric and Nanoampermetric) Carrier Wave Analysis for Quantitative Bioacoustics

Eugene D. Adamovich <sup>a</sup>, Oleg V. Gradov <sup>a, \*</sup><sup>a</sup>Talroze Institute of Energy Problems of Chemical Physics, Moscow, Russian Federation

#### Abstract

This methodical article describes the equipment for precision bioacoustic modulation studies. Two types of indicators on the front panel of the head unit allow simultaneous tracking of carrier and modulation index with nanovoltmetric and nanoampermetric accuracy, which is sufficient for very weak signals, such as those of insects and some fish. The approbation was also carried out on the signals of bottlenose dolphins and bearded seals. Due to the organizational problems, there was no possibility of fine-tuning the equipment for serial implementation in zoological bioacoustics, therefore, the described scheme can be considered only as a prototype. The developments were stopped at the level of creating GUI connection interfaces in LabView and similar to it in national SCADA (ZET developments, Zelenograd). The hardware and software complex can work autonomously or when connected to a PC sound card via TRS. In stand-alone format, it can be applied in the field expeditionary conditions, but only for real-time measurements. If we talk about interaction with PC, then it becomes possible to control the reproducibility of measurements of bioacoustic parameters obtained in the field and in laboratory conditions, in the record. The applicability of the implemented approach is described in the overview, which forms the initial part of the published article.

**Keywords:** bioacoustics, insect acoustics, marine mammals, ornithological acoustics.

#### 1. Введение

##### Проблема анализа несущей в биоакустике

Проблема анализа несущей как элемента этологической коммуникации и тонкой биоакустической сигнализации животных является не менее важной для ряда задач зоопсихологии и моделей когнитивной науки, чем анализ формантного спектра для биоакустики человека и анализа нейропсихологических свойств, принципов и модальностей поведения, выражающихся в ней и определяемых по данным формантной спектроскопии. Для морских животных исследование физической структуры несущей является способом анализа не только сигнала коммуникации, но и сигнала зондирования окружающего пространства (что у ряда видов определяется в рамках модели сонара; аналогичное свойственно и для летучих мышей и некоторых насекомых), наряду со спектроскопией ряда сигналов хеморецепторов (Агарков, Гилевич, 1979; Семенов, Терехов, 2008),

\* Corresponding author

E-mail addresses: [o.v.gradov@gmail.com](mailto:o.v.gradov@gmail.com) (O.V. Gradov)

экстраокулярных рецепторов (Василевская, Роман, 1983) и т.д., что, на данный момент (при соотнесении с морфологическими особенностями мозга данных видов (Агарков и др., 1973; Агарков и др., 1975)) даёт возможность говорить об участии модуляции сигнала (вплоть до очень тонких значений, адекватных нановольтовому отклику ряда высокочувствительных сенсоров) и свойств несущей в складывании паттерна «внешнего мира» у данных животных. Морфология органов звукогенерации и звуковосприятия у дельфинов (Родионов, Солнцева, 2009) также говорит в пользу данного подхода.

Существенная проблема «Определяется ли стратегия эхолокационного распознавания целей у дельфинов слуховым периферическим кодированием» может быть решена только при адекватной физической интерпретации кода и характеристик локационного сигнала (Римская-Корсакова, Дубровский, 2006). В идеале это подразумевает анализ / мониторинг всех релевантных позиций модуляции, что постулировалось ещё в программных работах проекта «Mathematical Bioacoustics Group» (Градов, 2012a; Градов, 2012b; Градов, Нотченко, 2012; Градов, 2016). Но в данной работе мы освещаем только один из аспектов данной проблемы. На данный момент известен индивидуальный репертуар тональных (свистовых) сигналов *Tursiops truncatus*, содержащихся в условиях изоляции (Агафонов, Панова, 2012), который рассматривается как система персонифицированных акустических свистовых коммуникативных сигналов (Агафонов, Панова, 2017). Исследования слуха китов и дельфинов, как считается, не противоречат возможностям индивидуального анализа сигнала, хотя вопрос требует дальнейшего исследования и более подробного анализа, с точки зрения эволюционной физиологии и когнитивной зоопсихологии (Попов, Супин, 2012). Несмотря на способность дельфинов к классификации ряда низкочастотных сигналов (Зайцева и др., 2016), ряд вопросов вызывает проблема многоканального проведения звука.

У китообразных многоканальное проведение звука к улитке у зубатых изучают с использованием многоцикловых несущих, огибающих «сонарные» или «зондирующие» сигналы («несущая частота 8, 16, 32, 64 или 128 кГц» ... «восемь циклов несущей» (Сысуева и др., 2011)). Также вклад в модуляцию вносит задержка (и – как следует из абстрактных моделей – вероятный фэдинг сигнала), так как у дельфинов имеют место интерауральные различия по времени и амплитудам сигнала при слуховом приеме импульсов (Римская-Корсакова, Дубровский, 2003). Имеет значение индекс частоты несущей. Например, в аспекте слуховой чувствительности для *Delphinapterus leucas* описаны отчетливые сигнатуры на частотах следования посылок (кода) 1000 Гц (несущая 64 кГц) и 875 Гц (45 кГц) (Сысуева и др., 2008), а при анализе локализации и «пеленгования» афалинами источника акустических сигналов в вертикальной плоскости – обнаружена чувствительность с различной точностью на разных несущих частотах (например, последовательности импульсных щелчков с несущей 120 кГц и экспоненциальной формой фронтов ADR локализуются дельфином с рекордной точностью 1,5° (Бабушина, Поляков, 2008)). Это можно внести в базы данных дескрипторов биоакустических сигналов коммуникационного поведения (для данных таксонов; наряду с показателями, описанными в работе (Иванов, 2009)). Методы акустического темного поля в биомиметическом аспекте могут быть введены в обиход с данным набором дескрипторов; в одной из первых работ по этому направлению использовались, впрочем, низкочастотные несущие (от 1 кГц и 2 кГц; последнее – при ширине полосы 1 кГц и длительности импульса – 2 мс (Зверев, Коротин, 2002)). Из морских млекопитающих, комплексно описана физическая структура различных категорий акустических сигналов – щелчков, импульсных звуков и свистов – для зубатых китов (с привязкой к морфологическим данным) (Филатова, Шулежко, 2006); в цитируемой статье указано, что параметрика, к которой относится «энергия (доминантная частота), соответствует несущей частоте».

Из наземных млекопитающих, на примере звукового предупреждающего сигнала сурков (монгольского сурка, сурка Мензбира, длиннохвостого сурка) показана связь между амплитудной модуляцией (АМ) и структурой спектра издаваемых животными звуков (в случае АМ выше и ниже несущей частоты – т.е. частоты заполнения – формируются боковые частоты; а в сигналах без АМ боковые частоты отсутствуют) (Никольский, 2007; Никольский, Рутовская, 2007). Для более общего класса нелинейных сигналов биоакустического происхождения говорить о несущей отдельно от комплекса нелинейных

характеристик сигнала – не приходится (Володин, Володина, 2006). Так как в систему нелинейных характеристик биоакустического сигнала входят также субгармоники, бифонации, сайдебанды и т.д. – для этого класса явлений пока нет возможности указать фингерпринты, содержащие несущую как активный компонент. В только что цитированной статье хорошо указывается различие между радиотехническим и кодовым биоакустическим пониманием несущей: «В радиотехнике ситуация обратная: «полезный сигнал» это – не высокая несущая частота ..., а низкая модулирующая, в роли которой выступает ... голос .... Приемник срезает несущую частоту, оставляя ... модулирующую, которую мы и слышим» [Ibid].

Как ни странно (или вполне логично?), но для слуха и акустических способностей человека понятие несущей внедрялось на стадии становления биоакустики ещё в третьей четверти XX века. Для слуха (точнее, для избирательной чувствительности слуха человека к амплитудной модуляции речи) при амплитудной модуляции на тот момент были известны данные об определенной зависимости порогов обнаружения последней от дБ-уровня несущей; поэтому для индивидуальных исследований испытуемых в программах исследований таких корифеев, как В.П. Морозов, и работавшая с ним Т.В. Черниговская, уровень несущей стандартизировался для когортных и массовых измерений (например – уровень несущей устанавливался равным 50 дБ над порогом (Морозов, Черниговская, 1975)).

Достаточно хорошо исследованы биоакустические характеристики, явно связанные с несущей, для птиц. Так, у лебедей длительность сигналов-звуков может меняться как за счет начальной части сигнала с несущей частотой 0.8 кГц, так и в результате удлинения его конечной части (несущая частота 0.4 кГц) (Панов, Павлова, 2007). У лесного конька (*Anthus trivialis*, Motacillidae) выявлены паттерны, характеризующиеся индивидуальной и географической изменчивостью, для которых (для самцов, по крайней мере) характерны «удлиненные послышки с плавно меняющейся несущей частотой, падающей ... либо нарастающей ... от начала к концу сигнала» (Панов и др., 2006). Для *Carpodacus erythrinus* (Pall.) – чечевицы обыкновенной – также описаны эффекты несущей; в частности, указано, что для достижения максимально возможной дистанции при передаче (чечевицей в фонации коммуникации) акустического сигнала важна его несущая частота (Звонов, 2004). «Биоакустический фингерпринтинг» с выделением РСА предусматривает использование частот несущей для определения птиц и фаз их этологии.

Известны прецеденты изучения несущей сигнала у амфибий (как слуха, так и сигнализации). В исследовании механизма адаптации нейронных сетей слухового анализатора были осуществлены предварительные эксперименты по исследованию адаптационных изменений в нейронах продолговатого и среднего мозга лягушки, происходящих после изменения частоты несущей и частоты модуляции (Бибиков, 2012). Автор одной из замечательных популярных статей в журнале «Природа», Е.Н. Панов, пишет (Панов, 2014): «Считается, что произнесение дистантных сигналов с закрытыми ртом и ноздрями приводит к сужению спектра частот и, соответственно, к акцентированию несущей частоты. Такой сигнал лучше воспринимаем в присутствии фоновых шумов, и тем самым увеличивается дальность его действия. Рекламную вокализацию некоторых видов можно услышать на расстоянии более километра». И далее – «Самцы лягушки *Leptodactylus albilabris*, обитающей в Карибском бассейне, во время вокализации частично погружаются в мягкий грунт, так что сильно развитый резонатор приходит в тесное соприкосновение с ним. В результате, наряду со звуком, распространяющимся в воздухе, воспроизводится также вибрация, передаваемая через почву. Эти инфразвуковые колебания распространяются на дистанцию до 3–6 м, то есть охватывают все персональное пространство самца (около 1–2 м в диаметре) внутри хорового скопления нескольких особей этого пола» [Ibid]. Таким образом, этологическая значимость несущей у амфибий не подлежит сомнению.

Хорошо изучены эффекты несущей у насекомых. Стабильность несущей частоты пульсов акустических сигналов насекомых в т.н. «конспецифической коммуникации» является критерием эффективности последней (Шестаков, Веденина, 2013). Сигналы сверчков, помимо скважности, амплитуды и длительности, характеризуются, с позиций исследования проблем передачи информации в энтомологической биоакустике, различием несущей частоты щелчков (у *Gryllus bimaculatus*) для четырех возрастных групп, а также рангов, соответствующих особенностям в ухаживании у сверчков (Овцунова, Парамонов,



2016). Замечательные работы О.С. Корсуновской и др. по звуковой сигнализации кузнечиковых раскрыли сущность различий форм сигнала и частот несущей для данного таксона. Стало известно, в частности, что «видоспецифическая информация кодируется не только длительностью и несущей частотой сигнала» (Корсуновская, 2009a), что «у более крупных насекомых несущая частота ниже» (Корсуновская, 2009b), а также что «несущая частота используется при опознании конспецифического (КС) сигнала также кузнечиками» (Корсуновская, 2005). Мы специально на стадии подготовки данного введения уклонились от перечисления и анализа зарубежных работ, так как, в противном случае, размер списка библиографии вырос бы на полтора-два порядка для каждого перечисляемого таксона. Нами не ставится задача полного библиографического обоснования необходимости анализа несущей и связанной с ней сложно детектируемой тонкой модуляции в биоакустическом сигнале. Уже перечисленного достаточно для целостного обоснования необходимости в устройстве, хотя бы частично выполняющем в комплексе с ЭВМ соответствующие функции анализа сигнала. Мы здесь, что логично, не обсуждаем возможности анализа сигнала несущей передатчиков телеметрии биологической информации (например, явно бессмысленные для биоакустического исследования и быстрого мультипараметрического анализа спектра несущие радиотелеметрической системы в диапазоне 26-51 МГц и, в частности, несущей частоты 45.5 Гц (Романенко и др., 1980)), но только собственные сигналы или сигнатуры сигналов акустически-активных биосистем и, следовательно – для их частотного диапазона оптимизированные анализаторы.

## 2. Материалы и методы

В рамках инициативных (т.е. неоплачиваемых) опытно-конструкторских работ в ОМСИ ГЕОХИ РАН (БИП ГЕОХИ РАН) в 2010-2011 гг. группой под руководством Градова был создан прибор «Нановольтамперметрический биоакустический анализатор несущей», предназначенный для исследований в природной среде и по стереовыборкам one-to-one-регистраграмм (при сохранении фазово-амплитудных характеристик сигнала в записи без селективного усиления).

На передней панели прибора расположены два стрелочных индикатора – для визуализации изменений уровня несущей (индикатор с надписью «несущая») и нановольтамперметр, улавливающий тонкие изменения сигнала (индикатор с надписью «нановольтамперметр»). Первая версия системы была выполнена в корпусе в стандарте «Надел», явно избыточном для данного типа приборов. В 2014 году Е.Д. Адамович выполнил модернизацию прибора, внедрив в его схему возможность приема сигнала с нескольких портов, а также произведя компактизацию, вследствие которой прибор стал размещаться в облегченном портативном пластиковом корпусе (с сохраненными от предыдущей версии органами индикации).

Возможность регистрации сигнала с направленных по двум осям микрофонов позволила адаптировать данный прибор для анализа пространственной локализации источника сигнала (для этой цели на задней панели были выведены два TRS-коммутатора).

Возможность подключения к АЦП-ЦАП посредством TRS позволила частично компьютеризировать цикл-протокол измерений на приборе. Впоследствии, для нужд биоакустического фингерпринтинга, был реализован вывод в ПО SpectraPLUS, EDSW, LabChart и инструментарий утилит импорта/конвертирования форматов файлов для расширенной спектральной обработки в ПО AutoSignal.

## 3. Обсуждение и результаты

### Многочастотные и спектральные нановольтамперметрические техники – пререквизит модуляционно-нановольтамперметрических методов

Метрологическая точность анализа несущей не определяется диапазоном вольтажа и тока измерений, однако существенно зависит от модуляционных, в том числе спектральных и нелинейных ее параметров. Нановольтамперметрия не способна обеспечить коннотируемой с ней точности измерений, если система измерений не может быть охарактеризована по комплексу дескрипторов, а не только не соотнесенному с частотой и модуляционными параметрами уровня вольтажа или тока. Спектральный анализ (Witt, 1996, 1997), в

частности, спектральная плотность мощности (Witt, 2000, 2001), достаточно давно используются в измерениях как средства поверки и квалитметрии для нановольтметрии. Спектральный анализ как средство калибровки существенно лучше встроенных процедур тестирования и самокалибровки концептуально современных цифровых нановольтметров (Langstaff, 1990). Как ни странно, применение этого актуально и для низких частот, частью которых являются биоакустические частоты звукового (или инфразвукового) диапазонов (Slabkii, Kosarin, 1968), так как, без учета модуляции, есть опасность спутать сигнал с «плаванием» показаний или кривой отслеживания сигнала (Sauer et al., 2008). В частности, это имеет аналогию в нановольтметрии Холловских сопротивлений, которые обеспечивают девиацию и «квантованную» модуляцию выходного тока (Inglis, Wood, 2000). Так как датчик Холла, используемый для измерения силы тока в проводнике, в отличие от трансформатора тока, измеряет также и постоянный ток, а метод нановольтметрии используется и для постоянного тока, аналогия становится, с точки зрения электроинженерии, эвристически-ценной.

#### **Метрологические параметры нановольтметрической техники.**

Количественные преимущества использования нановольтметрической и нановольтамперметрической техники для индикации девиации и модуляции на несущей очевидны. Существуют нановольтметрические усилители самого рекордно-низкого вольтажа (Cannata et al., 2012), высокоточные нановольтметры (точность не является здесь синонимом чувствительности, но является синонимом уровня корректности/«аккуратности» измерений, то есть несет квалитметрический, а не только метрологический смысл) (Šala et al., 2008), синхронные (фазочувствительные) дифференциальные нановольтметры (как правило, для аналитической химии, физической химии, электрохимии, оптики) (Rozier, 1976), нановольтметрические нуль-индикаторы/нуль-метры с улучшенной калибровкой «в ноль» (Frenzel, 2006). Точность, шумы, нестабильности и метрологически-значимые девиации данного класса приборов хорошо изучены (Strassberg, 2004), как для аналогового, так и для цифрового их варианта (Ignat'ev et al., 2012); известны интерфейсы передних панелей с регуляторами грубой и тонкой настройки для этих целей (Epstein et al., 1981), вплоть до использования монолитных потенциометров типа «Хелипот», включающих в себя ручки грубой и тонкой настройки на различных радиусах вокруг единой оси вращения (Vila, Hodgson, 2009; Stair et al., 1967; Siew, Aubrey, 1985). И уже, начиная с 1960-х гг., элементная база нановольтметров становится чисто твердотельной, так как до того ряд функций на ламповой базе реализовать было невозможно.

#### **Развитие наноамперметрической техники с 1950-х гг. до XXI века**

Другим аспектом электрофизических «наномасштабных измерений» является техника наноамперметрии, часто совмещаемая с нановольтметрией, как правило, в рамках фазочувствительной схемы измерений (Adamovich et al., 2017). Внедрение в схему измерений синхронного детектора и нановольтамперметрического (с переключением от шкалы к шкале) индикатора возможно только при полном соблюдении стандартных принципов электротехники, так как один из зондов подключается параллельно, а другой последовательно. Начиная с 1960-х гг., внедрение твердотельной (транзисторной и т.д.) элементной базы, привело к резкому улучшению воспроизводимости и точности нановольтамперметрии и основанных на ней метрологических приложений в электрохимии, анализе веществ, клеточной электрофизиологии, микроакустике, ядерной физике. На данный момент ретроспективно очевидны следующие принципиальные вехи наноамперметрии:

- 1955 – дотранзисторный по дизайну гальванометрический стрелочный наноамперметр, совмещенный с микровольтметром (Pye, 1955);
- 1965 – первый низкоимпедансный твердотельный наноамперметр (Otte, Sullivan, 1965);
- 1967 – переменноточковый наноамперметр-микровольтметр (Bollen, 1967) (с 1968-го года известен простой микровольт-наноамперметр (Bollen, 1968));
- 1969 – твердотельный наноамперметр с фиксированной полосой (O'haver, Winefordner, 1969);

- 1971 – первый «фотоумножительный» наноамперметр ([Kesselman, 1971](#));
- 1979 – сверхвысоковольтный (5 кВ) логарифмический наноамперметр с оптронной развязкой (оптически изолированный) ([Sturman, DeLaat, 1979](#)); оптически изолированные наноамперметры применяются и разрабатываются до сих пор, в частности, в связи с потребностью микросиловых измерений в реальном времени ([Aplin et al., 2008](#));
- 1994 – создание систем для мембранных измерений потенциал-зависимой емкости на базе генераторов последовательностей сигналов/импульсов и наноамперметров, разработанных в генеральной линии исследований предшествующего периода ([Fielder et al., 1994](#));
- 1998 – приближение к идеальной модели наноамперметра даже в самых слаборазвитых странах ([Wijesundara et al., 1994](#));
- 2008-2009 – дискуссия о наноамперметрах с плавающей параметрикой в журнале «Review of Scientific Instruments» ([Aplin, Smith, 2008](#); [Sauer et al., 2009](#)).

### **Разработки в области анализа несущей и модуляции на ней**

Модуляционные исследования являются предметом пристального фундаментального и прикладного интереса в развитых странах с 1930-х гг. Исследования в области модуляции низкочастотных и/или акустических несущих являются в США предметом диссертаций, начиная с 1930-х гг. ([Simons, 1933](#); [Jackson, 1933](#)). В тот же период начинается интенсивное патентование систем для модуляции и подавления несущих волн ([Werner, 1937](#); [Henry, Ernest, 1938](#); [Rudolf, 1939](#)). В период второй мировой войны данные разработки становятся засекреченными как у союзников, так и в Германии и сателлитных ей странах с достаточным уровнем развития. В частности, это связано с возможностями использования данных разработок в военных целях (особенно – в пеленгации, кодировании и декодировании шифровок, радиолокации, радиоуправлении военной техникой, внедрении прослушивающей и передающей техники на территории противника и т.д.). С 1945 года разработки частично продолжают в открытом режиме, хотя и с потерями, так как часть результатов послевоенных разработок, с первых лет холодной войны и до 1990-х гг., увы, является закрытой до настоящего времени. В 1940-е гг. патентуются новые форматы модуляции и системы для мультипараметрической и многоканальной модуляции ([Bennett, 1945](#); [Henricus, 1949](#)), однако ещё чувствуется давление сроков засекречивания военной информации с первой половины 40-х гг., поэтому первый повторный (после 1930-х гг.) всплеск инженерно-технических патентуемых работ в этой области идёт в 1950-е гг. ([Gerard, 1951](#); [Ross et al., 1952](#); [Julius, 1953](#); [Wilfred, 1953](#); [William, 1957](#); [Gordon, 1958](#)).

Практически вся ранняя эпоха астронавтики США в аспекте электронного обеспечения передачи информации базируется на разработках этого периода. Естественно, речь идёт об аналоговом сигнале и аналоговой модуляции, а не манипуляции, хотя частично предпосылки её формируются уже в те же послевоенные годы. В 1960-е гг. формируется двойственная ситуация, связанная с тем, что параллельно с работами в области аналоговой модуляции на несущей, начинаются работы (обычно патенты по ним датируются началом 1970-х гг., хотя статьи идут намного раньше) по демодуляции цифровой информации с использованием разных типов модуляции (в том числе угловой и фазовой) несущей ([Choquet et al., 1970](#); [Wycoff, 1971](#); [Bomke, 1976](#); [Voles, 1979](#)). В принципе, можно сказать, что это формирует предпосылки для ситуации 1980-х – 1990-х гг., когда для модуляции на несущей начинают применять различные алфавиты ([Mak, 1987](#); [Escartin, 1999](#)). Тем не менее, применение аналоговых типов модуляции на несущей не прекращается по настоящее время, однако, так как технологии фазочувствительного / синхронного детектирования и слежения за фазой достигли значительного совершенства, элиминация интермодуляционных искажений производится с учетом фазы ([Whittet, Kumar, 2010](#)). Этот принцип устраняет некогерентные, по природе и по определению, шумы из модуляционных пакетов, что существенно повышает чувствительность и устойчивость детектирования, по сравнению с амплитудными техниками 1960-х гг. ([Ducot, 1965](#)) (первый расцвет фазовых техник модуляции и демодуляции несущей и сигнала на ней приходится, тем не менее, на 1960-1970-е гг. ([Emura, Takahashi, 1975](#))).



Начиная с уровня импульсной и высокочастотной техники, на котором стала возможной эффективная модуляция в соответствующих её диапазонах времен/длительностей/частот/скважностей сигналов (СВЧ), модуляция ВЧ-/СВЧ-сигнала на несущей и собственно несущей становится возможной, равно как и импульсного сигнала с той же скважностью/длительностью и временами ADSR. Так, с 90-х гг. осуществляют многоуровневую модуляцию с использованием векторных модуляторов миллиметровых волн (Ashtiani et al., 1998). С 2000-х гг. практикуется мультицикловая модуляция вплоть до аттосекундных процессов (Yang et al., 2011; Xiang et al., 2012). Внедряется асинхронная модуляция с использованием нескольких несущих (Chen, 2003). В техниках с фазовым сдвигом и перекрытием несущих волн внедряются системы распознавания компонент (Chen et al., 2008).

К сожалению, в нейронауки и биоакустику данные разработки в тот период практически не поступают. Редкие исключения (например, работы по усилению волновой активности кортикальных нейросетей и их морфогенеза *in vitro* при стимуляции отдельными частотами (например, 150 МГц несущей при подаче пакетов сигналов с частотой 10-16 Гц) (Gramowski-Voß et al., 2015) только подтверждают правило, так как нейроэлектрофизиологические частоты не лежат в этом диапазоне несущей, а воздействие явно имеет физический / физико-химический характер, а не модулирует активность нейросетей.

Всё это в совокупности подтверждает потребность в создании приборов для измерений модуляции и индексов несущей в биоакустике, равно как и наличие «свободной инструментальной ниши» для подобного оборудования.

Видеокадры работы прибора – от подключения до регистрации показаний индикаторов – показаны ниже на видео и раскадровке «видеопотокола», приводимой в тексте статьи. Авторы просят прощения за качество ролика, обусловленное, что очевидно, возрастом видеокамеры и датой разработки описанного прибора. Можно видеть, что прибор откликается на биоакустические сигналы на обоих индикаторах – несущей и нановольтамперметрическом. Это говорит о перспективе и возможности ввода прибора в обиход биоакустических, зоопсихологических и акусто-этологических измерений, а также – кастомизации под конкретные задачи пользователей.



**Рис. 1.** Общий вид прибора, присоединенного по USB к автоматизирующему его ПК



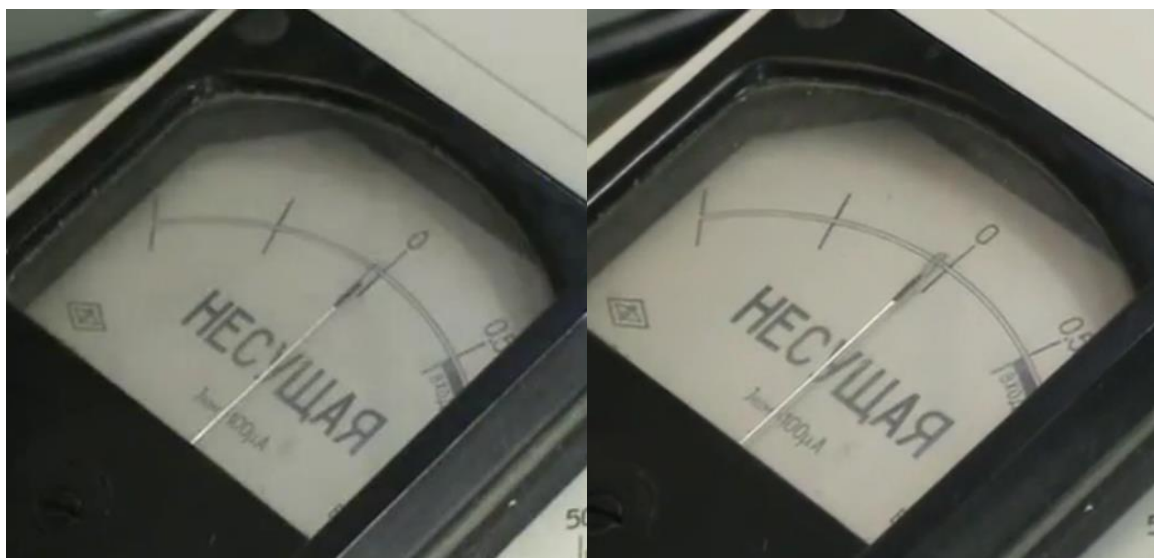
**Рис. 2.** Коннектор входит в TRS-разъём, расположенный рядом с USB-входом



**Рис. 3.** Положение стрелок при отсутствии входного сигнала



**Рис. 4.** Положение стрелок при подаче сигнала. Индикатор «несущая» инертен



**Рис. 5.** Индикатор «несущая» несколько смещается относительно нуля. Флуктуации, измеряемые таким образом, хорошо видны в фильме (27 сек. – 53 сек)



**Рис. 6.** Осцилляции стрелки индикатора нановольтамперметра (00:58-02:58)

#### 4. Заключение

Таким образом:

- Во-первых, аргументирована потребность создания биоакустических приборов, обеспечивающих возможность одновременных, синхронизированных измерений несущего сигнала и модуляции несущей волны.

- Во-вторых, продемонстрирована техническая релевантность данных разработок, следующая из уровня техники и истории развития техники нановольтметрии, наноамперметрии и модуляционных измерений.

- В-третьих, разработан и апробирован, как это показано в видеоприложении, прибор «Нановольтамперметрический биоакустический анализатор несущей» с двумя типами индикации, для исследований в природной среде или по one-to-one-регистраграммам (при сохранении фазовых и амплитудных характеристик сигнала в записи без селективного усиления).

- В-четвертых, подготовлен задел для возможности регистрации сигнала с направленных по разным осям микрофонов, то есть адаптации этого прибора для анализа пространственной локализации источника сигнала (с применением двух TRS-коммутаторов).

- В-пятых, оцифровка данных с помощью аналого-цифрового преобразователя, вмонтированного в корпус прибора на уровне панели вывода, с передачей на ПК по универсальной серийной шине, приводит к возможности спектральной и иной (кепстральной, вейвлетной и т.д.) обработки сигнала (DSP) с помощью ПО SpectraPLUS, EDSW, LabChart и LabView, а также их принципиальных аналогов, в том числе – для последующей расширенной спектральной обработки в ПО AutoSignal.

Учитывая различные формы модуляции, которые могут наблюдаться в биоакустическом сигнале, рационально кастомизировать прибор не только под конкретные задачи, но и под конкретные типы модуляции. В частности, возможны следующие модификации прибора (естественно, что в полностью автоматическом – не со стрелочными индикаторами – исполнении):

1. Биоакустический нановольт(ампер)метрический анализатор амплитудной модуляции, в частности, включающий в себя функции измерений с боковыми полосами, балансной и квадратурной (с двумя несущими) модуляции.

2. Биоакустический нановольт(ампер)метрический анализатор угловой (*sensu lato*) модуляции, в частности, включающий в себя функции измерений фазовой и частотной модуляции (модуляции, при которой передаваемый сигнал изменяет либо частоту  $\omega$ , либо начальную фазу  $\varphi$ , амплитуда не изменяется), в том числе – линейной частотной модуляции.

3. Биоакустический нановольт(ампер)метрический анализатор частотной модуляции, в частности, включающий в себя функции полноспектральных измерений при широкополосной частотной модуляции.

4. Биоакустический нановольт(ампер)метрический анализатор фазовой модуляции, включающий в себя, в частности, функции анализа квадратурно-фазовой модуляции несущего сигнала и фазовой модуляции, получаемой изменением частоты несущего сигнала.

Различие типов «естественной модуляции» биоакустического сигнала, в том числе – крайне специфичных экзотических, позволит улучшить уровень достоверности видовой, поведенческой и биоэкологической идентификации организмов и биоценозов – источников биоакустического сигнала. При этом, ввиду введения новых переменных и новых дескрипторов сигнала, а значит – и новых типов его модуляционной спектроскопии (в т.ч. не по Фурье-базису) и типов разложения сигнала по специфическим базисам, что очевидно, даст в результате новые несуррогатные ключи для идентификации видов, экосистем и т.д. по их комплексным сигналам. Это увеличит объективность систематик и фенотипических кластиков (где фенотип – прямой биоакустический сигнал источника, а классификация производится по фенотипу или в совокупности с ним, без привлечения цитогенетических и молекулярно-генетических данных – естественно, что до пределов, до которых это биостатистически возможно). Благодаря широкому внедрению биоакустических



(нановольтметрических и/или наноамперметрических) модуляционных анализаторов, представляется в перспективе возможным модуляционный фингерпринтинг видов и экосистем в реальном времени. Развитие соответствующих баз данных посредством как обучения с учителем (supervised learning), так и аналоговых подходов на базе аналоговой биоинформатики с несуррогатными ключами, сможет воскресить некоторые идеи и направления в биоакустике, частично забытые с прошлого века – со времён основополагающих работ Вепринцева и Морозова.

## References

- Агарков и др., 1973 – Агарков Г.Б., Хоменко Б.Г., Слезин В.Б. Основные морфологические особенности головного мозга и черепномозговых нервов дельфинов и других китообразных: Сообщение I // *Вестн. зоологии*. 1973. (2): 3-13.
- Агарков и др., 1975 – Агарков Г.Б., Хоменко Б.Г., Слезин В.Б. Основные морфологические особенности головного мозга и черепномозговых нервов дельфинов и других китообразных: Сообщение II // *Вестн. зоологии*. 1975. (4): 20-32.
- Агарков, Гилевич, 1979 – Агарков Г.Б., Гилевич С.А. К вопросу о хеморецепции у дельфинов // *Вестник зоологии*. 1979. (3): 3-11.
- Агафонов, Панова, 2012 – Агафонов А.В., Панова Е.М. Индивидуальный репертуар тональных (свистовых) сигналов афалин (*Tursiops truncatus*), содержащихся в дельфинарии в условиях относительной изоляции // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2012. (5), 509-509.
- Агафонов, Панова, 2017 – Агафонов А.В., Панова Е.М. Тональные сигналы (свисты) афалин (*Tursiops truncatus*) как система персонифицированных акустических коммуникативных сигналов // *Журнал общей биологии*. 2017. 78(1): 38-55.
- Бабушина, Поляков, 2008 – Бабушина Е.С., Поляков М.А. Локализация дельфином афалиной источника акустических сигналов в вертикальной плоскости // *Биофизика*. 2008. 53(3): 499-503.
- Бибиков, 2012 – Бибиков Н.Г. Механизмы адаптации в нейронных сетях слухового анализатора / *Сессия Научного совета РАН по акустике и XXV сессия Российского акустического общества (Сб. тр.)*. 2012. 3: 51-56.
- Василевская, Роман, 1983 – Василевская Г.И., Роман, Н.И. Рецепторные нервные образования в экстраокулярной мускулатуре черноморских дельфинов // *Вест. зоологии*. 1983. (6), 59-63.
- Володин, Володина, 2006 – Володин И.А., Володина Е.В. Скромное очарование нелинейностей // *Природа*. 2006. (2): 26-32.
- Градов, 2012a – Градов О.В. Биоакустический фингерпринтинг – многофакторный метод автоматизированной идентификации орнитофауны // *Бутурлинский сборник*. 2012. 4: 65-74.
- Градов, 2012b – Градов О.В. Автоматическое биоакустическое профилирование лесных экосистем, его экологическое и этологическое значение / *XII Международная конференция Леса Евразии, Agenda. Издательство Московского государственного университета леса Москва*. 2012. С. 49.
- Градов, 2016 – Градов О.В. Новейшие биоакустические методы для исследования морской фауны // *Биомедицинская инженерия и электроника*. 2016. (12): 22-41.
- Градов, Нотченко, 2012 – Градов О.В., Нотченко А.В. Автоматический орнито-фенологический мониторинг и популяционно-видовое картирование территорий при таксономическом биоакустическом фингерпринтинге / *Бутурлинский сборник*. 2012. 4: 75-84.
- Зайцева и др., 2016 – Зайцева К.А., Королев В.И., Ахи, А.В., Бутырский Е.Ю., Сапрыкин А.В. Способность дельфинов к восприятию и классификации низкочастотных сигналов // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2016. (4): 28-38.
- Зверев, Коротин, 2002 – Зверев В.А., Коротин Р.И. Метод акустического темного поля В сб.: *Системы наблюдения, измерения и контроля в вибро- и гидроакустике: Сборник научных трудов*. Нижний Новгород: ИПФ РАН, с. 61-83. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.acoustician.ru/rus/scientific/articles/5.doc>



**Звонов, 2004** – Звонов Б.М. Акустический образ чечевицы обыкновенной *Carpodacus erythrinus* (Pall.) // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2004. (5): 561-565.

**Иванов, 2009** – Иванов М.П. Изучение коммуникационного поведения дельфина: методика, двигательные и акустические показатели // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2009. 45(6): 576.

**Корсуновская, 2005** – Корсуновская О.С. Кодирование видоспецифической информации в звуковых сигналах кузнечиков (Orthoptera, Tettigoniidae) / *Труды Русского энтомологического общества*. 2005. 76: 141-153.

**Корсуновская, 2009a** – Корсуновская О.С. Акустические системы 6. Связи кузнечиков (Orthoptera, Tettigonoidea): дис. докт. биол. наук, 2009.

**Корсуновская, 2009b** – Корсуновская О.С. Звуковая сигнализация кузнечиковых (Orthoptera, Tettigonoidea), сообщение 2 // *Зоологический журнал*. 2009. 88: 18-22.

**Морозов, Черниговская, 1975** – Морозов В.П., Черниговская Т.В. Об избирательной чувствительности слуха человека к амплитудной модуляции речи // *Журн. эвол. биох. и физиол.* 1975. 11(5): 468-473.

**Никольский, 2007** – Никольский А.А. Влияние амплитудной модуляции на структуру спектра звукового сигнала сурков (*Marmota*, Rodentia, Sciuridae) // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2007. (4), 428-436.

**Никольский, Рutowская, 2007** – Никольский А.А., Рutowская М.В. Влияние амплитудной модуляции на структуру спектра звукового сигнала монгольской пищухи (*Mammalia*, Lagomorpha) // *Доклады Академии наук*. 2007. 439(1): 135-138.

**Овцунова, Парамонов, 2016** – Овцунова П.А., Парамонов М.С. Изучение влияния возраста и ранга на акустические сигналы ухаживания у сверчка *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773). [Науч. рук. Веденина В.Ю.; кур.: ИППИ РАН]. М., 2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bioclass.ru/files/def16/paramonov.pdf>

**Панов и др., 2006** – Панов Е.Н., Непомнящих В.А., Рубцов, А.С. Организация песни у лесного конька (*Anthus trivialis*, Motacillidae) // *Зоологический журнал*. 2006. 85(1): 84-100.

**Панов, 2014** – Панов Е.Н. Амфибии – как они общаются между собой // *Природа*. (12): 37-47.

**Панов, Павлова, 2007** – Панов Е.Н., Павлова Е.Ю. Сравнительная этология лебедей (*Cygnus*, Anseriformes) мировой фауны. 2. Акустические компоненты поведения // *Зоологический журнал*. 2007. 86(6): 709-738.

**Попов, Супин, 2012** – Попов В.В., Супин А.Я. Слух китов и дельфинов // *Сенсорные системы*. 2012. 26(2): 83-105.

**Римская-Корсакова, Дубровский, 2003** – Римская-Корсакова Л.К., Дубровский Н.А. Интерауральные различия по времени и амплитуде при слуховом приеме импульсов у дельфинов: имитационное моделирование // *Сенсорные системы*. 2003. 17(1): 68-80.

**Римская-Корсакова, Дубровский, 2006** – Римская-Корсакова Л.К., Дубровский Н.А. Определяется ли стратегия эхолокационного распознавания целей у дельфинов слуховым периферическим кодированием? // *Акустический журнал*. 2006. 52(4): 521-530.

**Родионов, Солнцева, 2009** – Родионов В.А., Солнцева Г.Н. Морфология органов звукогенерации и звуковосприятия у дельфинов // *Успехи современной биологии*. 2009. 129(4): 399-416.

**Романенко и др., 1980** – Романенко Е.В., Соколов В.Е., Сухов В.П. Применение телеметрии при изучении млекопитающих в СССР. Итоги мечения млекопитающих. М.: Наука, 282, 296.

**Семенов, Терехов, 2008** – Семенов В.А., Терехов В.И. Влияние хлор-и азотсодержащих веществ, растворенных в воде, на состояние кишечного микробиоценоза афалин // *Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные*. 2008. (1): 14-16.

**Сысуева и др., 2008** – Сысуева Е.В., Нечаев Д.И., Попов В.В. Слуховая чувствительность белухи (*Delphinapterus leucas*). Электрофизиологический подход / *Актуальные проблемы экологии и эволюции в исследованиях молодых ученых*. 2008. 267.

**Сысуева и др., 2011** – Сысуева Е.В., Попов В.В., Супин А.Я. Многоканальное проведение звука к улитке у зубатых китообразных // *Сенсорные системы*. 2011. 25(4): 319-328.

- Филатова, Шулежко, 2006 – Филатова О.А., Шулежко Т.С. (2006). Акустическая коммуникация зубатых китов // *Успехи современной биологии*. 2006. 126(3): 297-304.
- Шестаков, Веденина, 2013 – Шестаков Л.С., Веденина В.Ю. Роль стабильных и изменчивых параметров акустических сигналов насекомых в конспецифической коммуникации. 2013. [Электронный ресурс]. URL: itas2013.iitp.ru
- Adamovich et al., 2017 – Adamovich E.D., Alexandrov P.L., Gradov O.V. Lock-in/phase-sensitive spectral nanovoltmetric patch-clamp with frequency discrimination ( $\phi$ - $\omega$ -patch-clamp) as simple technology for single ion channel registration in cellular biomedicine // *Eur. J. Med., Ser. B*. 4(1): 30-58.
- Aplin et al., 2008 – Aplin K.L., Smith K.L., Firth J.G., Kent B.J., Alexander M.S., Stark J.P. Inexpensive optically isolated nanoammeter for use with micro-Newton electric propulsion technology // *Journal of Propulsion and Power*. 2008. 24(4): 892-895.
- Aplin, Smith, 2008 – Aplin K.L., Smith K.L. Comment on “A robust floating nanoammeter” [Rev. Sci. Instrum. 79, 126102 (2008)] // *Review of Scientific Instruments*. 2008. 80(5): 126102.
- Ashtiani et al., 1998 – Ashtiani, A.E., Nam, S.I., d'Espona, A., Lucyszyn, S., Robertson, I.D. (1998). Direct multilevel carrier modulation using millimeter-wave balanced vector modulators // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 46(12): 2611-2619.
- Bennett, 1945 – Bennett W.R. Carrier wave modulation: U.S. Patent No. 2, 377, 858. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1945.
- Bollen, 1967 – Bollen D. DC nanoammeter and micro-voltmeter // *Wireless World*. 1967. 73(5): 206.
- Bollen, 1968 – Bollen D. Microvolt-nanoammeter // *Wireless World*. 1968. 74(1389): 28.
- Bomke, 1976 – Bomke H.A. Secret communication system employing magnetic control of signal modulation on microwave or other electromagnetic carrier wave: U.S. Patent No. 3, 936, 748. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1976.
- Cannata et al., 2012 – Cannatà G., Scandurra G., Ciofi C. Nanovoltmeter amplifier for low level voltage measurements / 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. IEEE, 2012. Pp. 653-657.
- Chen et al., 2008 – Chen Y., Liu D., Zhu Z. Overlap carrier wave phase shift SVPWM modulation control technique research / 2008 International Conference on Electrical Machines and Systems. IEEE, 2008. Pp. 1976-1979.
- Chen, 2003 – Chen C. Asynchronous DS/CDMA Multi-user Detector Based on Multi-carrier Wave Modulation Technology // *Journal of Jimei University Natural Science*. 2003. 3.
- Choquet et al., 1970 – Choquet M., Coeuret M., Lerailliez F. Demodulation of digital information signals of the type using angle modulation of a carrier wave: U.S. Patent No. 3, 490, 049. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1970.
- Ducot, 1965 – Ducot C. Incoherence noise in amplitude modulation(Incoherent carrier wave transmission of information by amplitude modulation) // *L'Onde Electrique*. 1965. 45: 131-138.
- Emura, Takahashi, 1975 – Emura M., Takahashi F. Phase modulation and demodulation of triangular carrier wave. *Electronics & Communications in Japan*. 1975. 58(6): 110-117.
- Epstein et al., 1981 – Epstein K., Moore F.T., Dahlberg E.D., Goldman A.M. Gain control interface for a nanovoltmeter // *Journal of Physics E: Scientific Instruments*. 1981. 14(9): 1050.
- Escartin, 1999 – Escartin M. Carrier wave synchronization for multi-level two-dimensional modulation alphabets: U.S. Patent No. 6,008,692. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1999.
- Fielder et al., 1994 – Fielder S.S., Noglik H., Pietro W.J. A pulse sequencer and transient nanoammeter system for membrane voltage-dependent capacitance measurements // *Review of scientific instruments*. 1994. 65(3): 742-746.
- Frenzel, 2006 – Frenzel L.E. Techview-Test & Measurement – Unique Nullmeter. Nanovoltmeter Improves Calibration Precision // *Electronic Design*. 2006. 54(17): 32-33.
- Gerard, 1951 – Gerard H. Circuit arrangement for the frequency modulation of a carrier wave: U.S. Patent No. 2,541,649. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1951.
- Gordon, 1958 – Gordon T.C. Keyed frequency modulation carrier wave systems: U.S. Patent No. 2, 860, 185. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1958.

- Gramowski-Voß et al., 2015 – Gramowski-Voß A., Schwertle H.J., Pielka A.M., Schultz L., Steder A., Jügelt K., Axmann J., Pries W. (2015). Enhancement of cortical network activity in vitro and promotion of GABAergic neurogenesis by stimulation with an electromagnetic field with a 150 MHz carrier wave pulsed with an alternating 10 and 16 Hz modulation // *Frontiers in neurology*. 6: 158.
- Henricus, 1949 – Henricus B.G. Multichannel carrier wave system employing multiple modulation: U.S. Patent No. 2,489,361. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1949.
- Henry, Ernest, 1938 – Henry C.N., Ernest G. Carrier wave modulation system: U.S. Patent No. 2, 128, 285. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1938.
- Ignat'ev et al., 2012 – Ignat'ev V.K., Nikitin A.V., Perchenko S.V., Stankevich D. A. A digital nanovoltmeter // *Instruments and Experimental Techniques*. 2012. 55(1): 44-48.
- Inglis, Wood, 2000 – Inglis D., Wood B. Why nanovoltmeter offset currents do not explain measured deviations in the quantized Hall resistance // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2000. 49(6): 1358-1359.
- Jackson, 1933 – Jackson K.A. Modulation of an Audio Frequency Carrier Wave (Doctoral dissertation, University of Alberta), 1933.
- Julius, 1953 – Julius H. Radio transmission and carrier wave modulation: U.S. Patent No. 2, 645, 710. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1953.
- Kesselman, 1971 – Kesselman M. Designing a photomultiplier nanoammeter [Citation Export]. 1971.
- Langstaff, 1990 – Langstaff S. A self calibrating digital nanovoltmeter / *Conference on Precision Electromagnetic Measurements*. 1990. IEEE, p. 128.
- Mak, 1987 – Mak S.T. Method and apparatus for providing selectively variable modulation signal for a carrier wave: U.S. Patent No. 4,658,238. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1987.
- O'haver, Winefordner, 1969 – O'haver T.C., Winefordner J.D. A versatile, solid state, constant bandwidth recording nanoammeter // *Journal of Chemical Education*. 1969. 46(4): 241.
- Otte, Sullivan, 1965 – Otte V.A., Sullivan R.P. Low Impedance Solid State Nanoammeter // *Review of Scientific Instruments*. 1965. 36(10): 1504-1504.
- Pye, 1955 – Pye W.G. Galvanometer modulator, microvoltmeter and nanoammeter. *Journal of Scientific Instruments*. 1955. 32(11): 454-455.
- Ross et al., 1952 – Ross K.F. Dual modulation of carrier wave: U.S. Patent No. 2, 619, 547. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1952.
- Rozier, 1976 – Rozier C.P. A synchronous differential Nanovoltmeter for optical methane detection (Doctoral dissertation, Brown University), 1976.
- Rudolf, 1939 – Rudolf U. Circuit for amplitude modulation carrier wave: U.S. Patent No. 2, 171, 151. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1939.
- Šala et al., 2008 – Šala A., Ilić D., Leniček I. High accuracy digital nanovoltmeter for maintenance of voltage standards. *1st International Symposium RMO 2008-Regional Metrology Organizations & 20th International Metrology Symposium*, 2008.
- Sauer et al., 2008 – Sauer B.E., Kara D.M., Hudson J.J., Tarbutt M.R., Hinds E.A. A robust floating nanoammeter // *Review of Scientific Instruments*. 2008. 79(12): 126102.
- Sauer et al., 2009 – Sauer B.E., Kara D.M., Hudson J.J., Tarbutt M.R., Hinds E.A. Response to "Comment on 'A robust floating nanoammeter'" [Rev. Sci. Instrum. 80, 057101 (2009)] // *Review of Scientific Instruments*. 2009. 80(5): 057101.
- Sauer et al., 2008 – Sauer B.E., Kara D.M., Hudson J.J., Tarbutt M.R., Hinds E.A. A robust floating nanoammeter // *Review of Scientific Instruments*. 2008. 79(12): 126102.
- Siew, Aubrey, 1985 – Siew Y.H., Aubrey J.E. The transverse electric fields in zinc // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1985. 18(9): 1735.
- Simons, 1933 – Simons F.W. (1933). Modulation of a Low Frequency Carrier Wave (Doctoral dissertation, University of Alberta).
- Slabkii, Kosarin, 1968 – Slabkii L.I., Kosarin P.E. Simple low-frequency nanovoltmeter // *Measurement Techniques*. 1968. 11(1): 126-127.
- Stair et al., 1967 – Stair R., Schneider W.E., Fussell W.B. The new tungsten-filament lamp standards of total irradiance // *Applied optics*. 1967. 6(1): 101-105.



- Strassberg, 2004 – Strassberg D. Nanovoltmeter combats offsets, drift, and noise // *EDN*. 2004. 49(18): 16.
- Sturman, DeLaat, 1979 – Sturman J.C., DeLaat J.C. Optically isolated logarithmic nanoammeter capable of floating to 5 kilovolts. *NASA Technical Paper*. 1979. 1527, 23 p.
- Vila, Hodgson, 2009 – Vila R., Hodgson E.R. TIEMF effect in ceramic coated cables // *Journal of nuclear materials*. 2009. 386: 1041-1044.
- Voles, 1979 – Voles R. Phase modulation system for combining carrier wave segments containing selected phase transitions: U.S. Patent No. 4,179,672. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1979.
- Werner, 1937 – Werner B. Carrier wave modulation and suppression: U.S. Patent No. 2,099,294. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1937.
- Whittet, Kumar, 2010 – Whittet G.C., Kumar S. Method for reducing inter modulation distortion products of a combined carrier wave using phase alignment of the carrier components : U.S. Patent No. 7,760,031. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2010.
- Wijesundara et al., 1994 – Wijesundara R.P., Kalingamudali S.R.D., Jayasuriya K.D. Construction of a near ideal nanoammeter / *Proc. 14th Tech. Sess. Inst. Phys. Sri Lanka*, 1998, pp. 50-53.
- Wilfred, 1953 – Wilfred R.C. Modulation control circuits for modulated carrier wave transmitters: U.S. Patent No. 2,651,757. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1953.
- William, 1957 – William E.C. Keyed frequency modulation carrier wave systems: U.S. Patent No. 2,784,255. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1957.
- Witt, 1996 – Witt T.J. Using DC nanovoltmeters for low-frequency spectral analysis of voltage reference standards / *Proceedings of 20th Biennial Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, pp. 330-331. IEEE, 1996.
- Witt, 1997 – Witt T.J. Low-frequency spectral analysis of DC nanovoltmeters and voltage reference standards // *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 1997. 46(2): 318-321.
- Witt, 2000 – Witt T.J. Using the Allan variance and power spectral density to characterize DC nanovoltmeters / *Conference on Precision Electromagnetic Measurements. Conference Digest. CPEM 2000 (Cat. No. 00CH37031)* (pp. 667-668). IEEE.
- Witt, 2001 – Witt T.J. Using the Allan variance and power spectral density to characterize DC nanovoltmeters // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2001. 50(2): 445-448.
- Wycoff, 1971 – Wycoff K.H. Transmitter with means for generating the carrier wave before generating the modulation components: U.S. Patent No. 3,619,784. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Xiang et al., 2012 – Xiang Y., Niu Y., Gong S. Proposal for isolated-attosecond-pulse generation in the multicycle regime through modulation of the carrier wave // *Physical Review A*. 2012. 85(2): 023808-1 – 023808-5.
- Yang et al., 2011 – Yang X., Niu Y., Gong S. Realization of Single Attosecond Pulse Generation in Multi-Cycle Regime through Modulation of Carrier Wave // *arXiv preprint arXiv*. 2011. 1110. 6729.

## References

- Adamovich et al., 2017 – Adamovich, E.D., Alexandrov, P.L., Gradov, O.V. (2017). Lock-in/phase-sensitive spectral nanovoltmetric patch-clamp with frequency discrimination ( $\phi$ - $\omega$ -patch-clamp) as simple technology for single ion channel registration in cellular biomedicine. *Eur. J. Med., Ser. B*. 4(1): 30-58.
- Agafonov, Panova, 2012 – Agafonov, A.V., Panova, E.M. (2012). Individual'nyi repertuar tonal'nykh (svistovykh) signalov afalin (*Tursiops truncatus*), soderzhashchikhsya v del'finarii v usloviyakh otnositel'noi izolyatsii [An individual repertoire of tonal (whistling) signals of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) kept in a dolphinarium in conditions of relative isolation]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. (5): 509-509. [in Russian]
- Agafonov, Panova, 2017 – Agafonov, A.V., Panova, E.M. (2017). Tonal'nye signaly (svisty) afalin (*Tursiops truncatus*) kak sistema personifitsirovannykh akusticheskikh kommunikativnykh signalov [Tonal signals (whistles) of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) as a system of personalized acoustic communication signals]. *Zhurnal obshchei biologii*. 78(1): 38-55. [in Russian]

Agarkov i dr., 1973 – Agarkov, G.B., Khomenko, B.G., Slezin, V.B. (1973). Osnovnye morfologicheskie osobennosti golovnogogo mozga i cherepnomozgovykh nervov del'finov i drugikh kitoobraznykh: Soobshchenie I [The main morphological features of the brain and cranial nerves of dolphins and other cetaceans: The Message I]. *Vestn. zoologii*. (2): 3-13. [in Russian]

Agarkov i dr., 1975 – Agarkov, G.B., Khomenko, B.G., Slezin, V.B. (1975). Osnovnye morfologicheskie osobennosti golovnogogo mozga i cherepnomozgovykh nervov del'finov i drugikh kitoobraznykh: Soobshchenie II [The main morphological features of the brain and cranial nerves of dolphins and other cetaceans: Message II]. *Vestn. zoologii*. (4): 20-32. [in Russian]

Agarkov, Gilevich, 1979 – Agarkov, G.B., Gilevich, S.A. (1979). K voprosu o khemoretseptsii u del'finov [To the issue of chemoreception among dolphins]. *Vestik zoologii*. (3): 3-11. [in Russian]

Aplin et al., 2008 – Aplin, K.L., Smith, K.L., Firth, J.G., Kent, B.J., Alexander, M.S., Stark, J.P. (2008). Inexpensive optically isolated nanoammeter for use with micro-Newton electric propulsion technology. *Journal of Propulsion and Power*. 24(4): 892-895.

Aplin, Smith, 2008 – Aplin, K.L., Smith, K.L. (2009). Comment on “A robust floating nanoammeter” [Rev. Sci. Instrum. 79, 126102 (2008)]. *Review of Scientific Instruments*. 80(5): 126102.

Ashtiani et al., 1998 – Ashtiani, A.E., Nam, S.I., d'Espona, A., Lucyszyn, S., Robertson, I.D. (1998). Direct multilevel carrier modulation using millimeter-wave balanced vector modulators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 46(12): 2611-2619.

Babushina, Polyakov, 2008 – Babushina, E.S., Polyakov, M.A. (2008). Lokalizatsiya del'finom afalinoi istochnika akusticheskikh signalov v vertikal'noi ploskosti [Localization by the bottlenose dolphin of the source of acoustic signals in the vertical plane]. *Biofizika*. 53(3): 499-503. [in Russian]

Bennett, 1945 – Bennett, W.R. (1945). Carrier wave modulation: U.S. Patent No. 2, 377, 858. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bibikov, 2012 – Bibikov, N.G. (2012). Mekhanizmy adaptatsii v neironnykh setyakh slukhovogo analizatora [Adaptation mechanisms in the neural networks of the auditory analyzer]. *Sessiya Nauchnogo soveta RAN po akustike i XXV sessiya Rossiiskogo akusticheskogo obshchestva (Sb. tr.)*. 3: 51-56. [in Russian]

Bollen, 1967 – Bollen, D. (1967). DC nanoammeter and micro-voltmeter. *Wireless World*. 73(5): 206.

Bollen, 1968 – Bollen, D. (1968). Microvolt-nanoammeter. *Wireless World*. 74(1389): 28.

Bomke, 1976 – Bomke, H.A. (1976). Secret communication system employing magnetic control of signal modulation on microwave or other electromagnetic carrier wave: U.S. Patent No. 3, 936, 748. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Cannata et al., 2012 – Cannata, G., Scandurra, G., Ciofi, C. (2012, May). Nanovoltmeter amplifier for low level voltage measurements. *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*. IEEE. Pp. 653-657.

Chen et al., 2008 – Chen, Y., Liu, D., Zhu, Z. (2008, October). Overlap carrier wave phase shift SVPWM modulation control technique research. *2008 International Conference on Electrical Machines and Systems*. IEEE, pp. 1976-1979.

Chen, 2003 – Chen, C. (2003). Asynchronous DS/CDMA Multi-user Detector Based on Multi-carrier Wave Modulation Technology // *Journal of Jimei University Natural Science*. 3.

Choquet et al., 1970 – Choquet, M., Coeuret, M., Leraillez, F. (1970). Demodulation of digital information signals of the type using angle modulation of a carrier wave: U.S. Patent No. 3, 490, 049. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Ducot, 1965 – Ducot, C. (1965). Incoherence noise in amplitude modulation (Incoherent carrier wave transmission of information by amplitude modulation) // *L'Onde Electrique*. 45: 131-138.

Emura, Takahashi, 1975 – Emura, M., Takahashi, F. (1975). Phase modulation and demodulation of triangular carrier wave // *Electronics & Communications in Japan*. 58(6): 110-117.

Epstein et al., 1981 – Epstein, K., Moore, F.T., Dahlberg, E.D., Goldman, A.M. (1981). Gain control interface for a nanovoltmeter. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*. 14(9): 1050.

Escartin, 1999 – Escartin, M. (1999). Carrier wave synchronization for multi-level two-dimensional modulation alphabets: U.S. Patent No. 6, 008, 692. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.



- Fielder et al., 1994 – Fielder, S.S., Noglik, H., Pietro, W.J. (1994). A pulse sequencer and transient nanoammeter system for membrane voltage-dependent capacitance measurements. *Review of scientific instruments*. 65(3): 742-746.
- Filatova, Shulezhko, 2006 – Filatova, O.A., Shulezhko, T.S. (2006). Akusticheskaya kommunikatsiya zubatkh kitov [Acoustic communication of toothed whales]. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 126(3): 297-304. [in Russian]
- Frenzel, 2006 – Frenzel, L.E. (2006). Techview-Test & Measurement – Unique Nullmeter / Nanovoltmeter Improves Calibration Precision. *Electronic Design*. 54(17): 32-33.
- Gerard, 1951 – Gerard, H. (1951). Circuit arrangement for the frequency modulation of a carrier wave: U.S. Patent No. 2,541,649. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gordon, 1958 – Gordon, T.C. (1958). Keyed frequency modulation carrier wave systems: U.S. Patent No. 2,860,185. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gradov, 2012a – Gradov, O.V. (2012). Bioakusticheskii fingerprinting – mnogofaktornyi metod avtomatizirovannoi identifikatsii ornitofauny [Bioacoustic fingerprinting is a multifactorial method for automated identification of ornithofauna]. *Buturlinskii sbornik*. 4: 65-74. [in Russian]
- Gradov, 2012b – Gradov, O.V. (2012). Avtomaticheskoe bioakusticheskoe profilirovanie lesnykh ekosistem, ego ekologicheskoe i etologicheskoe znachenie [Automatic bioacoustic profiling of forest ecosystems, its ecological and ethological significance]. *XII Mezhdunarodnaya konferentsiya Lesa Evrazii, Agenda*. Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Moskva, p. 49. [in Russian]
- Gradov, 2016 – Gradov, O.V. (2016). Noveishie bioakusticheskie metody dlya issledovaniya morskoi fauny [The latest bioacoustic methods for the study of marine fauna]. *Biomeditsinskaya inzheneriya i elektronika*. (12): 22-41. [in Russian]
- Gradov, Notchenko, 2012 – Gradov, O.V., Notchenko, A.V. (2012). Avtomaticheskii ornitofenologicheskii monitoring i populyatsionno-vidovoe kartirovanie territorii pri taksonomicheskom bioakusticheskom fingerprinting [Automatic bird-phenological monitoring and population-species mapping of territories in taxonomic bioacoustic fingerprinting]. *Buturlinskii sbornik*. 4: 75-84. [in Russian]
- Gramowski-Voß et al., 2015 – Gramowski-Voß, A., Schwertle, H.J., Pielka, A.M., Schultz, L., Steder, A., Jügelt, K., Axmann, J., Pries, W. (2015). Enhancement of cortical network activity in vitro and promotion of GABAergic neurogenesis by stimulation with an electromagnetic field with a 150 MHz carrier wave pulsed with an alternating 10 and 16 Hz modulation. *Frontiers in neurology*. 6: 158.
- Henricus, 1949 – Henricus, B.G. (1949). Multichannel carrier wave system employing multiple modulation: U.S. Patent No. 2,489,361. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Henry, Ernest, 1938 – Henry, C.N., Ernest, G. (1938). Carrier wave modulation system: U.S. Patent No. 2,128,285. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ignat'ev et al., 2012 – Ignat'ev, V.K., Nikitin, A.V., Perchenko, S.V., Stankevich, D.A. (2012). A digital nanovoltmeter. *Instruments and Experimental Techniques*. 55(1): 44-48.
- Inglis, Wood, 2000 – Inglis, D., Wood, B. (2000). Why nanovoltmeter offset currents do not explain measured deviations in the quantized Hall resistance. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 49(6): 1358-1359.
- Ivanov, 2009 – Ivanov, M.P. (2009). Izuchenie kommunikatsionnogo povedeniya del'fina: metodika, dvigatel'nye i akusticheskie pokazateli [Dolphin communication behavior study: technique, motor and acoustic indicators]. *Zhurnal evolyutsionnoi biokhimii i fiziologii*. 45(6): 576. [in Russian]
- Jackson, 1933 – Jackson, K.A. (1933). Modulation of an Audio Frequency Carrier Wave (Doctoral dissertation, University of Alberta).
- Julius, 1953 – Julius, H. (1953). Radio transmission and carrier wave modulation: U.S. Patent No. 2,645,710. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Kesselman, 1971 – Kesselman, M. (1971). Designing a photomultiplier nanoammeter. [Citation Export].
- Korsunovskaya, 2005 – Korsunovskaya, O.S. (2005). Kodirovanie vidospetsificheskoi informatsii v zvukovykh signalakh kuznechikov (Orthoptera, Tettigoniidae) [Encoding of species-

specific information in sound signals of grasshoppers (Orthoptera, Tettigoniidae)]. *Trudy Russkogo entomologicheskogo obshchestva*. 76: 141-153. [in Russian]

**Korsunovskaya, 2009a** – Korsunovskaya, O.S. (2009). Akusticheskie sistemy 6. svyazi kuznechikov (Orthoptera, Tettigonoidea) [Acoustic systems 6. communication of grasshoppers (Orthoptera, Tettigonoidea)]: dis. dokt. biol. nauk. [in Russian]

**Korsunovskaya, 2009b** – Korsunovskaya, O.S. (2009). Zvukovaya signalizatsiya kuznechikov (Orthoptera, Tettigonoidea), soobshchenie 2 [Sound signaling of grasshoppers (Orthoptera, Tettigonoidea), message 2]. *Zoologicheskii zhurnal*. 88: 18-22. [in Russian]

**Langstaff, 1990** – Langstaff, S. (1990, June). A self calibrating digital nanovoltmeter. *Conference on Precision Electromagnetic Measurements*. IEEE, p. 128.

**Mak, 1987** – Mak, S.T. (1987). Method and apparatus for providing selectively variable modulation signal for a carrier wave: U.S. Patent No. 4, 658, 238. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

**Morozov, Chernigovskaya, 1975** – Morozov, V.P., Chernigovskaya, T.V. (1975). Ob izbiratel'noi chuvstvitel'nosti slukha cheloveka k amplitudnoi modulyatsii rechi [On the selective sensitivity of human hearing to amplitude modulation of speech]. *Zhurn. evol. biokh. i fiziol.* 11(5): 468-473. [in Russian]

**Nikol'skii, 2007** – Nikol'skii, A.A. (2007). Vliyanie amplitudnoi modulyatsii na strukturu spektra zvukovogo signala surkov (Marmota, Rodentia, Sciuridae) [Influence of amplitude modulation on the structure of the audio signal spectrum of the Mongolian pika (Mammalia, Lagomorpha)]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. (4): 428-436. [in Russian]

**Nikol'skii, Rutovskaya, 2007** – Nikol'skii, A.A., Rutovskaya, M.V. (2011). Vliyanie amplitudnoi modulyatsii na strukturu spektra zvukovogo signala mongol'skoi pishchukhi (Mammalia, Lagomorpha) [Influence of amplitude modulation on the structure of the audio signal spectrum of the Mongolian pika (Mammalia, Lagomorpha)]. *Doklady Akademii nauk*. 439(1): 135-138. [in Russian]

**O'haver, Winefordner, 1969** – O'haver, T.C., Winefordner, J.D. (1969). A versatile, solid state, constant bandwidth recording nanoammeter. *Journal of Chemical Education*. 46(4): 241.

**Otte, Sullivan, 1965** – Otte, V.A., Sullivan, R.P. (1965). Low Impedance Solid State Nanoammeter. *Review of Scientific Instruments*. 36(10): 1504-1504.

**Ovtsunova, Paramonov, 2016** – Ovtsunova, P.A., Paramonov, M.S. (2016). Izuchenie vliyaniya vozrasta i ranga na akusticheskie signaly ukhazhivaniya u sverchka *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773) [Studying the influence of age and rank on acoustic courtship signals in the cricket *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773)]. [Nauch. ruk. Vedenina V.Yu.; kur.: IPPI RAN]. Moskva. [Electronic resource]. URL: <http://www.bioclass.ru/files/def16/paramonov.pdf> [in Russian]

**Panov i dr., 2006** – Panov, E.N., Nepomnyashchikh, V.A., Rubtsov, A.S. (2006). Organizatsiya pesni u lesnogo kon'ka (*Anthus trivialis*, Motacillidae) [Organization of song of the forest pipit (*Anthus trivialis*, Motacillidae)]. *Zoologicheskii zhurnal*. 85(1): 84-100. [in Russian]

**Panov, 2014** – Panov, E.N. (2014). Amfibii – kak oni obshchayutsya mezhdu soboi [Amphibians-how they communicate with each other]. *Priroda*. (12): 37-47. [in Russian]

**Panov, Pavlova, 2007** – Panov, E.N., Pavlova, E.Yu. (2007). Sravnitel'naya etologiya lebedei (*Cygnus*, Anseriformes) mirovoi fauny. 2. Akusticheskie komponenty povedeniya [Comparative ethology of swans (*Cygnus*, Anseriformes) of the world fauna. 2. Acoustic components of behavior]. *Zoologicheskii zhurnal*. 86(6): 709-738. [in Russian]

**Popov, Supin, 2012** – Popov, V.V., Supin, A.Ya. (2012). Slukh kitov i del'finov [Hearing of whales and dolphins]. *Sensornye sistemy*. 26(2): 83-105. [in Russian]

**Pye, 1955** – Pye, W.G. (1955). Galvanometer modulator, microvoltmeter and nanoammeter. *Journal of Scientific Instruments*. 32(11): 454-455.

**Rimskaya-Korsakova, Dubrovskii, 2003** – Rimskaya-Korsakova, L.K., Dubrovskii, N.A. (2003). Interaural'nye razlichiya po vremeni i amplitude pri slukhovom prieme impul'sov u del'finov: imitatsionnoe modelirovanie [Interaural differences in time and amplitude in the auditory reception of impulses in dolphins: simulation modeling]. *Sensornye sistemy*. 17(1): 68-80. [in Russian]

- Rimskaya-Korsakova, Dubrovskii, 2006 – Rimskaya-Korsakova, L.K., Dubrovskii, N.A. (2006). Opredelyaetsya li strategiya ekholokatsionnogo raspoznavaniya tselei u del'finov slukhovym perifericheskim kodirovaniem? [Is the strategy of echolocation target recognition in dolphins determined by auditory peripheral encoding?]. *Akusticheskii zhurnal*. 52(4), 521-530. [in Russian]
- Rodionov, Solntseva, 2009 – Rodionov, V.A., Solntseva, G.N. (2009). Morfologiya organov zvukogeneratsii i zvukovospriyatiya u del'finov [The morphology of the organs of sound generation and sound perception among dolphins]. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 129(4), 399-416. [in Russian]
- Romanenko i dr., 1980 – Romanenko, E.V., Sokolov, V.E., Sukhov, V.P. (1980). Primenenie telemetrii pri izuchenii mlekopitayushchikh v SSSR. Itogi mecheniya mlekopitayushchikh [Application of telemetry in the study of mammals in the USSR. Results of tagging mammals]. M.: Nauka, 282, 296. [in Russian]
- Ross et al., 1952 – Ross, K.F. (1952). Dual modulation of carrier wave: U.S. Patent No. 2, 619, 547. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Rozier, 1976 – Rozier, C.P. (1976). A synchronous differential Nanovoltmeter for optical methane detection (Doctoral dissertation, Brown University).
- Rudolf, 1939 – Rudolf, U. (1939). Circuit for amplitude modulation carrier wave: U.S. Patent No. 2,171,151. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Šala et al., 2008 – Šala, A., Ilić, D., Leniček, I. (2008, January). High accuracy digital nanovoltmeter for maintenance of voltage standards. *1st International Symposium RMO 2008-Regional Metrology Organizations & 20th International Metrology Symposium*.
- Sauer et al., 2008 – Sauer, B.E., Kara, D.M., Hudson, J.J., Tarbutt, M.R., Hinds, E.A. (2008). A robust floating nanoammeter. *Review of Scientific Instruments*. 79(12): 126102.
- Sauer et al., 2008 – Sauer, B.E., Kara, D.M., Hudson, J.J., Tarbutt, M.R., Hinds, E.A. (2008). A robust floating nanoammeter. *Review of Scientific Instruments*. 79(12): 126102.
- Sauer et al., 2009 – Sauer, B.E., Kara, D.M., Hudson, J.J., Tarbutt, M.R., Hinds, E.A. (2009). Response to “Comment on ‘A robust floating nanoammeter’” [Rev. Sci. Instrum. 80, 057101 (2009)]. *Review of Scientific Instruments*. 80(5): 057101.
- Semenov, Terekhov, 2008 – Semenov, V.A., Terekhov, V.I. (2008). Vliyanie khlor-i azotsoderzhashchikh veshchestv, rastvorenykh v vode, na sostoyanie kishechnogo mikrobiotsenoza afalin [Influence of chlorine-and nitrogen-containing substances dissolved in water on the state of intestinal microbiocenosis of bottlenose dolphins]. *Rossiiskii veterinarnyi zhurnal. Melkie domashnie i dikiye zhivotnye*. (1): 14-16. [in Russian]
- Shestakov, Vedenina, 2013 – Shestakov, L.S., Vedenina, V.Yu. (2013). Rol' stabil'nykh i izmenchivyykh parametrov akusticheskikh signalov nasekomykh v konspetsificheskoi kommunikatsii [The role of stable and variable parameters of acoustic signals of insects in conspecific communication]. [Electronic resource]. URL: itas2013.iitp.ru [in Russian]
- Siew, Aubrey, 1985 – Siew, Y.H., Aubrey, J.E. (1985). The transverse electric fields in zinc. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 18(9): 1735.
- Simons, 1933 – Simons, F.W. (1933). Modulation of a Low Frequency Carrier Wave (Doctoral dissertation, University of Alberta).
- Slabkii, Kosarin, 1968 – Slabkii, L.I., Kosarin, P.E. (1968). Simple low-frequency nanovoltmeter. *Measurement Techniques*. 11(1): 126-127.
- Stair et al., 1967 – Stair, R., Schneider, W.E., Fussell, W.B. (1967). The new tungsten-filament lamp standards of total irradiance. *Applied optics*. 6(1): 101-105.
- Strassberg, 2004 – Strassberg, D. (2004). Nanovoltmeter combats offsets, drift, and noise. *EDN*. 49(18): 16.
- Sturman, DeLaat, 1979 – Sturman, J.C., DeLaat, J.C. (1979). Optically isolated logarithmic nanoammeter capable of floating to 5 kilovolts. NASA Technical Paper. 1527, 23 p.
- Sysueva i dr., 2008 – Sysueva, E.V., Nechaev, D.I., Popov, V.V. (2008). Slukhovaya chuvstvitel'nost' belukhi (*Delphinapterus leucas*). Elektrofiziologicheskii podkhod [Auditory sensitivity of Beluga (*Delphinapterus leucas*). Electrophysiological approach]. *Aktual'nye problemy ekologii i evolyutsii v issledovaniyakh molodykh uchenykh*. 267. [in Russian]



[Sysueva i dr., 2011](#) – *Sysueva, E.V., Popov, V.V., Supin, A.Ya.* (2011). Mnogokanal'noe provedenie zvuka k ulitke u zubatyykh kitoobraznykh [Multichannel sound conduction to the snail in toothed cetaceans]. *Sensornye sistemy*. 25(4): 319-328. [in Russian]

[Vasilevskaya, Roman, 1983](#) – *Vasilevskaya, G.I., Roman, N.I.* (1983). Retseptornye nervnye obrazovaniya v ekstraokulyarnoi muskulature chernomorskikh del'finov [Receptor nerve formations in the extraocular musculature of black sea dolphins]. *Vest. zoologii*. (6): 59-63. [in Russian]

[Vila, Hodgson, 2009](#) – *Vila, R., Hodgson, E.R.* (2009). TIEMF effect in ceramic coated cables. *Journal of nuclear materials*. 386: 1041-1044.

[Voles, 1979](#) – *Voles, R.* (1979). Phase modulation system for combining carrier wave segments containing selected phase transitions: U.S. Patent No. 4,179,672. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[Volodin, Volodina, 2006](#) – *Volodin, I.A., Volodina, E.V.* (2006). Skromnoe ocharovanie nelineinosti [Modest charm of nonlinearities]. *Priroda*. (2): 26-32. [in Russian]

[Werner, 1937](#) – *Werner, B.* (1937). Carrier wave modulation and suppression: U.S. Patent No. 2,099,294. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[Whittet, Kumar, 2010](#) – *Whittet, G.C., Kumar, S.* (2010). Method for reducing inter modulation distortion products of a combined carrier wave using phase alignment of the carrier components: U.S. Patent No. 7,760,031. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[Wijesundara et al., 1994](#) – *Wijesundara, R.P., Kalingamudali, S.R.D., Jayasuriya, K.D.* (1998). Construction of a near ideal nanoammeter. *Proc. 14th Tech. Sess. Inst. Phys.*, Sri Lanka, pp. 50-53.

[Wilfred, 1953](#) – *Wilfred, R.C.* (1953). Modulation control circuits for modulated carrier wave transmitters: U.S. Patent No. 2,651,757. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[William, 1957](#) – *William, E.C.* (1957). Keyed frequency modulation carrier wave systems: U.S. Patent No. 2,784,255. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[Witt, 1996](#) – *Witt, T.J.* (1996, June). Using DC nanovoltmeters for low-frequency spectral analysis of voltage reference standards. *Proceedings of 20th Biennial Conference on Precision Electromagnetic Measurements* (pp. 330-331). IEEE.

[Witt, 1997](#) – *Witt, T.J.* (1997). Low-frequency spectral analysis of DC nanovoltmeters and voltage reference standards. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 46(2): 318-321.

[Witt, 2000](#) – *Witt, T.J.* (2000, May). Using the Allan variance and power spectral density to characterize DC nanovoltmeters. *Conference on Precision Electromagnetic Measurements. Conference Digest. CPEM 2000 (Cat. No. 00CH37031)* (pp. 667-668). IEEE.

[Witt, 2001](#) – *Witt, T.J.* (2001). Using the Allan variance and power spectral density to characterize DC nanovoltmeters // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 50(2): 445-448.

[Wycoff, 1971](#) – *Wycoff, K.H.* (1971). Transmitter with means for generating the carrier wave before generating the modulation components: U.S. Patent No. 3,619,784. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[Xiang et al., 2012](#) – *Xiang, Y., Niu, Y., Gong, S.* (2012). Proposal for isolated-attosecond-pulse generation in the multicycle regime through modulation of the carrier wave // *Physical Review A*. 85(2): 023808-1 – 023808-5.

[Yang et al., 2011](#) – *Yang, X., Niu, Y., Gong, S.* (2011). Realization of Single Attosecond Pulse Generation in Multi-Cycle Regime through Modulation of Carrier Wave. *arXiv preprint arXiv: 1110.6729*.

[Zaitseva i dr., 2016](#) – *Zaitseva, K.A., Korolev, V.I., Akhi, A.V., Butyrskii, E.Yu., Saprykin, A.V.* (2016). Sposobnost' del'finov k vospriyatiyu i klassifikatsii nizkochastotnykh signalov [Dolphins' ability to perceive and classify low-frequency signals]. *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. (4): 28-38. [in Russian]

[Zverev, Korotin, 2002](#) – *Zverev, V.A., Korotin, R.I.* (2002). Metod akusticheskogo temnogo polya [Acoustic dark field method]. V sb.: *Sistemy nablyudeniya, izmereniya i kontrolya v vibro- i gidroakustike: Sbornik nauchnykh trudov. Nizhnii Novgorod: IPF RAN*, pp. 61-83. [Electronic resource]. URL: <http://www.acoustician.ru/rus/scientific/articles/5.doc> [in Russian]

Zvonov, 2004 – Zvonov, B.M. (2004). Akusticheskii obraz chechevitsy obyknovnoi *Carpodacus erythrinus* (Pall.) [Acoustic image of common lark *Carpodacus erythrinus* (Pall.)]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. (5): 561-565. [in Russian]

## Прецизионный анализатор несущей для количественной биоакустики

Евгений Денисович Адамович <sup>a</sup>, Олег Валерьевич Градов <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Институт энергетических проблем химической физики, Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Данная методическая статья описывает аппаратуру для прецизионных биоакустических модуляционных исследований. Два типа индикаторов на передней панели головного прибора позволяют одновременно отслеживать несущую и коэффициент модуляции с нановольтметрической и наноамперметрической точностью, что достаточно для весьма слабых сигналов – таких, как сигналы насекомых и некоторых рыб. Апробация проведена также на сигналах афалин и морских зайцев. Из-за организационных проблем, возможности доводки оборудования для серийного внедрения в зоологической биоакустике не было, поэтому описываемая схема может рассматриваться лишь как опытный экземпляр. Разработки остановлены на уровне создания GUI интерфейсов подключения в LabView и аналогичного ему в отечественной SCADA (разработки ZET, Зеленоград). Программно-аппаратный комплекс способен работать автономно либо при подключении к звуковой карте ПК посредством TRS. В автономном формате он может быть применен в полевых экспедиционных условиях, но только для измерения в реальном времени. Если же говорить о взаимодействии с ПК, то становится возможным контроль воспроизводимости измерений биоакустических параметров, полученных в полевых и в лабораторных условиях, в записи. Применимость имплементированного подхода описывается в обзоре, составляющем начальную часть публикуемой статьи.

**Ключевые слова:** биоакустика, акустическая сигнализация насекомых, акустика морских млекопитающих, вокализация птиц.

\* Корреспондирующий автор  
Адреса электронной почты: [o.v.gradov@gmail.com](mailto:o.v.gradov@gmail.com) (О.В. Градов)

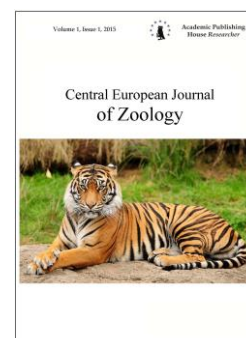


Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
Central European Journal of Zoology  
Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019, 5(1): 24-45

DOI: 10.13187/cejz.2019.1.24

[www.ejournal40.com](http://www.ejournal40.com)

## Analog Non-Coherent Spectrozonal Lens-less Microscopy of *Hydra* sp. (Phylum Cnidaria, Class Hydrozoa) with combined Raster Scan and Cross-Band Shifting

Oleg V. Gradov <sup>a, \*</sup><sup>a</sup>Talroze Institute of Energy Problems of Chemical Physics, Moscow, Russian Federation

### Abstract

This article discusses a new microscopic research technique for invertebrate zoology and hydrobiology. The proposed method is based on the principles of lensless microscopy, carried out in an analogous version (including in the presence of digitization at the peripheral link) using monochrome devices with charge coupled and wavelength tuning at the source level. Previously tested by the author options using tubes using an internal photoelectric effect such as vidicon/plumbicon, as well as tubes using an external photoeffect such as superorticon and others, were not considered as a worthy alternative to semiconductor matrix CCD detectors, due to the lack of resolvometric characteristics, according to the criteria of the cellular resolution of the majority hydrobiological objects, as well as by virtue of the "black orthicon halo" effect in the irradiated ROI ("black orthicon halo"), which displaces the frequency-contrast function of the detectors, caused by excessive emission of photoelectrons, leading to the accumulation of charge. The article presents some of the oldest data obtained personally by the author on an independently assembled experimental setup (CCD), available for assembly by a layman; therefore, the article can also be considered as a guide to DIY-making appropriate installations for zoological applications. At the moment, installations of this kind can also be used in conjunction with laser sources (for example, diode pumped lasers, DPSSL) and polarization components of the optical path. When using standard means of analog video recording, it is possible to use a time, address-time code embedded in the register, including in time-lapse mode, which is convenient for dynamic zoological research. And in the case of digital recording with a variable flow rate, a similar code will allow using high-speed modes with a time resolution down to microseconds.

**Keywords:** lens-less microscopy, *Hydra* sp., Anthoathecata, Hydridae, Hydrozoa, Cnidaria.

### 1. Введение

Представители рода *Hydra*, семейства *Hydridae*, являются классическим «модельным объектом» зоологии и ряда иных дисциплин. Как справедливо отмечает Гэллот (Galliot, 2012), модельным объектом гидр можно считать, начиная с первого их исследования в 18 в. Абрамом Трамбле; дословная цитата: «The freshwater *Hydra* polyp emerged as a model system in 1741 when Abraham Trembley not only discovered its amazing regenerative potential, but also demonstrated that experimental manipulations pave the way to research in biology». В настоящее время гидра используется как модельный объект, как минимум, в следующих модальностях:

\* Corresponding author

E-mail addresses: [o.v.gradov@gmail.com](mailto:o.v.gradov@gmail.com) (O.V. Gradov)

1. Как модель биологического развития и формообразования (Greier, 1974), в том числе – гистогенеза и дифференциации клеток (Arndt-Jovin et al., 1976), общая, как минимум, для всех *Cnidaria* (Koizumi, 2002) или для *Eumetazoa* (Böttger, Hassel, 2012). Эта модальность включает в себя также анализ стволовых клеток в ходе дифференциации (Schincariol, Habowsky, 1972), как биологический или, конкретнее, биогенетический пререквизит морфогенеза, по Заварзину, а также абстрактный анализ форм в рамках математической биологии и биофизической химии (Berking, 2003). В частных случаях, *sensu stricto*, моделируются простые и свойственные только данному таксону морфологические особенности (примеры – нога, гипостом, щупальца (Meinhardt, 1993)), в вышеописанных более общих и не ограничиваемых таксономически случаях – результаты экстраполируются на уровень биологических принципов, позволяющий перейти к частностям других таксонов, в том числе высших. Например, как ни парадоксально, именно гидры используются для моделирования диабетической микроангиопатии: утонением мембраны «ноги» гидры моделируется соответствующий реактивный эффект в сосудах на введение лишней глюкозы (Flower, 2000), хотя модели морфогенеза ноги гидры (например, т.н. «zipper model» (Fujisawa, Fujisawa, 2004)) весьма отличаются от формальных моделей ангиогенеза (Darbyshire, 2015), базируясь, тем не менее, на той же реакционно-диффузионной базе (активатор-ингибитор) (Shimizu et al., 1983 ; Shimizu, Sawada, 1984).

2. Как модель межклеточных, межтканевых взаимодействий в организме (Day, Lenhoff, 1981; Vogg et al., 2019), а также модель восстановления тканей, то есть – регенерации, общая для *Metazoa* (Michael, 2019). Данная модальность отражает не только процессы формирования и кооперативного гистогенеза тканей, но и аутофагию (Galliot et al., 2018). В аспекте регенеративной биологии здесь нельзя не согласиться с анонимным корреспондентом журнала «Nature», говорившим, что гидра не только регенерирует, но и регулирует (а это, с точки зрения модели Тьюринга, противопоставления активатора и ингибитора, обеспечивает точные закладки органов и тканей), обеспечивая (цитата) "positional information" to cells within the hydra. Полная цитата звучит так: «Hydra can regenerate and regulate. If the head of a hydra is removed a new head regenerates at the anterior cut surface. This regeneration does not require cell division, but stems from a reorganization of the tissues of the hydra. Further, the presence of an extra head nearby can inhibit head regeneration at a cut surface. The implication is that a head acts as a source of some substance that actively inhibits head formation, and possibly also supplies "positional information" to cells within the hydra. When a head is removed the gradient of inhibitor relaxes and, it is postulated, when the concentration of inhibitor has fallen below a threshold value, which is a function of axial position, new head formation is initiated» (Correspondent, 1972).

3. Как модель процессов старения, в том числе – репликативного «сенесцентного» старения (Tomczyk et al., 2015; Bellantuono et al., 2015; Schenkelaars et al., 2019), а также долгожительства, по крайней мере, для подобных ей низших организмов (Bosch, 2019).

4. Как модель биохимического сигналинга, в частности – связанного с активными формами кислорода (Suknovic, 2019), а также как нейроцитохимическая модель трансдукции сигналов, доказывающая общность механизмов передачи у гидр с позвоночными (Fraune et al., 2014).

5. Как модель для исследований биохимических основ сенсорики беспозвоночных, в том числе – фоторецепции (Santillo et al., 2005) и хеморецепции (см ниже). Для опсинов гидр показано родство с опсинами высших позвоночных, человека.

6. Как модель взаимодействия организма с окружающей его средой в онтогенезе в норме и при техногенных воздействиях (Vasseur, Pachura, 2006; Quinn et al., 2012), в том числе в экотоксикологических аспектах (Kim et al., 2010; Zeeshan et al., 2017; Ziuzina et al., 2018; Chaves, Ruvoilo-Takasusuki, 2018; Terracciano et al., 2019; Nikolay, Shahid, 2019). Это позволяет использовать её как простую альтернативу токсикологическому тестированию на высших животных, хотя это и нередко вызывает резонные возражения (Murugadas et al., 2019).

7. Как модель взаимодействий организма и его микробиома (Augustin et al., 2012; Deines, Bosch, 2016), а также модель взаимодействия с инфекционными либо эпизоотическими микробно-паразитарными носителями (Stiven, 1973)

8. Как молекулярно-генетическая модель, включая экологическую геномику (Yum et al., 2014), экотоксикогеномику (Murugadas et al., 2016), а также молекулярную филогенетику (Hemmrich et al., 2007).

9. Как классический учебный объект для школьных и элементарных институтских практик и практикумов (Bossert, 2009; Bossert, Galliot, 2012).

Исходя из изложенного, логично требовать максимально полного внедрения методов и технологий микроскопии, позволяющих в режиме реального времени наблюдать различные аспекты поведения и модельного использования гидры. Однако, в реальности, микроскопия используется для анализа гидр, как правило, поверхностная оптическая, как 30-40 лет назад (Campbell, 1983; Dansky, Johnson, 1985; Hunter, 1993) и ранее, начиная с времен Трамбле, либо недоступная для мониторинга биологических структур (если не использовать методы низковакуумной электронной микроскопии, которой, впрочем, столь нежные создания, как правило, не выдерживают) электронная микроскопия – трансмиссионная, просвечивающая с 1950-х гг. по настоящее время (Wood, 1959, 1983a; Westfall et al., 1971; Holstein et al., 2010) и сканирующая с 1970-х гг. по настоящее время (Westfall et al., 1971; Beams et al., 1973; Wood, 1983b; Westfall, Epp, 1985; Takahashi-Iwanaga et al., 1994; Murate et al., 1996;). Технологии корреляционной оптической и электронной, потенциальное разнообразие которых способно изменить представления о морфологии систем, за счет внедрения новых слоёв дескрипторов (Gradov, 2019), по отношению к гидрам, насколько нам известно, не использовались, хотя из вторичных цитирований можно извлечь информацию о том, что целесообразность подхода корреляционной микроскопии в их отношении отмечалась ещё в 1980-е гг. Компаративный анализ относился к отдельным структурам (например – нейронам (Epp, Westfall, 1983)), а не сопоставлению изображений разных методов. Интеграция же микроскопии оптической и электронной, с известными допущениями, может быть отнесена лишь к работам, в которых использовалось одновременно иммунофлуоресцентная микроскопия гидр (Shahkolahi, 1983) и иммуноэлектронная микроскопия (однако такие работы мне известны только из «частных сообщений» последнего времени, не цитируемых в современном формате изданий). То есть, по существу, технико-методическая база для мультидескрипторного анализа и мониторинга гидр *in situ*, в реальном времени, исключая классические методы оптической микроскопии, отсутствует. Необходимость создания и испытания такой техники, инициировала работу над этой статьёй, начатой задолго до того, как методы корреляционной световой и электронной микроскопии вошли «в моду», а модели на основе гидр перешли на уровень молекулярной геномики и эпигеномики. Тем самым, в определенной мере, данная статья может являться и фиксацией отечественного приоритета в этой области техники.

## 2. Результаты

### Техника эксперимента

Какие критерии логично предъявлять к такой технике?

Очевидно, что необходима техника, обеспечивающая работу на разных длинах волн, по критериям отличия контрастирования различно пигментированных зон гидры как полипа с различными по специализации слоями клеток. Но, в то же время, очевидно, что дорогой (по аналогии с гиперспектральной микроскопией или многолазерной конфокальной) эта схема быть не должна. Очевидно, что необходимо обеспечить возможность одновременного сбора данных о многих гидрах (для накопления популяционной статистики), но поле зрения, при этом, не должно быть слишком широким, как у бинокулярной лупы, так как необходимы не общие снимки популяции, а исследование одиночных гидр, рассаженных по модулям, где, в соответствии с технологией эксперимента, можно изменять температуру, ионный состав или токсическую контаминированность среды, pH, и т.д., и т.п., вплоть до микробиологического и вирусологического контаминирования (см. список выше). То есть нужна многоканальная и содержащая множество устройств сбора данных система, в которой можно будет подключать различные каналы к аналитическим устройствам, не меняя параметры на уровне популяции в целом. Возможно, целесообразно поддерживать проточную систему (микрофлюидную или мезофлюидную, как в системах типа «орган на чипе» (Beißner et al., 2016; van Der Helm et al., 2016; Caballero et al., 2017; Kieninger et al., 2018; Zhang et al., 2018; Cochrane et al., 2019; Cavero et al., 2019)) и возможность углового

перемещения платформы для анализа ориентационных механизмов и размешивания среды, как в случае культивации нейронов морских животных (Gradov, 2015).

Для этого нами была выбрана платформа безлинзового микроскопа одной из первых – разработанных много лет тому назад автором – конструкций, изначально аналоговых (с BNC разъёмами для вывода на многоканальный преобразователь через квадропроцессорную, т.е. «квадраторную» схему), однако впоследствии оцифрованных без изменения сенсора, т.е. с сохранением прибора с зарядовой связью. Этот тип безлинзового микроскопа качественно отличался от камерофонной версии, разработанной позднее (Nasirov et al., 2018a, 2018b), что выражалось в аналоговой схеме сбора данных и использованием ПЗС (прибора с зарядовой связью) в качестве сенсора, что позволяло не стремиться за наиболее высокоразрешающими современными CMOS-матрицами. Последний раз разработки в этом направлении велись не позднее 2011–2012 года (Gradov, 2012; Notchenko, Gradov, 2013a). Использовались данные микроскопы для анализа динамики процессов самоорганизации, что требовало стабильного видеопотока с адресно-временным кодом/тайм-кодом (Gradov, 2011; Gradoff, 2012), что, по тем временам, не являлось доступным в бюджетном цифровом формате. Изменяя питание и время экспозиции на сенсоре, можно управлять фотометрическими и денситометрическими характеристиками фрейма (часто отображаемыми на вектороскопах либо мониторах формы волны в единицах IRE). Частотно-контрастная функция матрицы отличается, в зависимости от спектрального диапазона/длины волны, поэтому обеспечив перестройку по длине волны (например, лазера или перестраиваемой щели) или смену диапазона источника излучения (например, LED) или фильтра (например, при повороте интерференционного фильтра), мы, используя растривание при переходе от поддиапазона к поддиапазону, можем обеспечить одновременную резольвометрическую и денситометрическую калибровку и исследование (с её использованием) собственных характеристик объекта. Для этого не нужно использование цифровых преобразований оцифрованного сигнала, как это было реализовано нами в более поздних версиях (Gradov et al., 2018). Всё осуществляется аналоговым путём. Многоугловой/многоосный характер достигается не решеткой позиционера внутри интегрирующей сферы, как это сделано позднее в одной из версий метода MPLM-UIS (Gradov, Orekhov, 2019), но непосредственным вращением стола относительно фиксированного источника излучения. В элементарном случае, источник излучения может быть представлен трёх- либо пяти- осным универсальным предметным столом типа Федоровского (Notchenko, Gradov, 2013b), но не представляет труда монтаж эквивалентной схемы в не откачиваемом стенде на базе бывшего электронного микроскопа с многоосным столом. Нами использовалась мехатроника на базе предметного стола микроскопа TESLA BS300, показанная на рис. 1 (Gradov, 2018a). На такой платформе можно было устанавливать поляризационное звено оптического тракта CLEM (Gradov, 2018b), как показано на Рисунке 2.





**Рис. 1.** Телеметрическая установка для безлинзовой микроскопии на базе колонны SEM

Последний пункт был бы целесообразен, так как роль поляриметрии в зоогистологии оптически гетерогенных рассеивающих свет тканей ([Ghosh, Vitkin, 2011](#); [Macdonald et al., 2014](#)) постоянно растёт с начала 2000-х гг. ([Wang et al., 2002](#)), однако исследуются, в лучшем случае, независимые от геометрии метрики тканевой анизотропии ([Wallenburg et al., 2010](#)), а поляризационно-микроскопический подход мог бы выдавать геометрическую морфологию, к которой, как к «геотэгу», привязаны будут данные о поляризации.



В настоящее время, как правило, это является затруднительным и громоздким, требующим прогрессивной техники, которая у инициативных исследователей в области зоологии беспозвоночных, как правило, отсутствует (например, конфокальная поляриметрия (Campbell et al., 2007)). Спектральная и мультиспектральная/гиперспектральная поляриметрия, позволяющая анализировать либо картировать морфологию тканей, в ранних версиях известна с первого десятилетия XXI века (Duncan et al., 2008), однако широкого распространения не получила. Следовательно, наша схема должна обладать возможностью поляризационно-микроскопического картирования с изменением или переключением длин волн. Стандартную проблему анализа представляет дихроизм двулучепреломление (например, в напряженных поперечно-полосатых мышцах и волокнах кардиомиоцитов (Ushenko et al., 2015, 2017)), следовательно, мы должны учесть все его проявления при переходе от спектрального диапазона к спектральному диапазону.



**Рис. 2.** Элементарное поляризационное звено PCLEM, подводимое к окну SEM

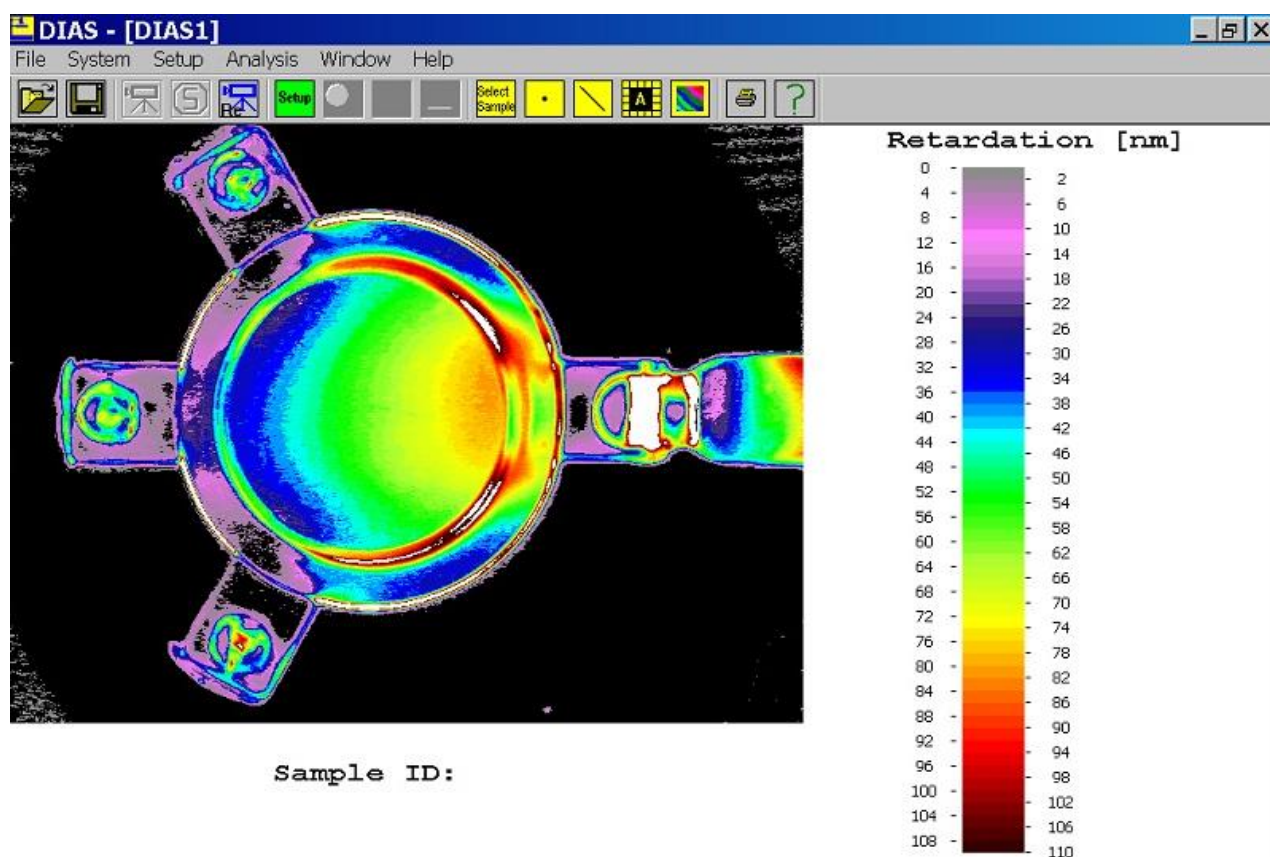
Если, начиная с конца XX века, речь идёт о лазерной поляриметрии (Ushenko et al., 2000), мы должны предусмотреть возможность расположения лазерных источников (с переключаемыми длинами волн, например – дискретным вращением револьверной турели, снятой со стандартного микроскопа, в которой укреплены лазерные диодные модули или же DPSSL) на тракте иллюминации образца. Так как приобретает дальнейшее распространение схема лазерной поляриметрии тканей с использованием удвоенной частоты, т.е. генерацией второй гармоники (Yasui et al., 2002, 2005; Sasaki et al., 2004), ничто не мешает применять в лазерном варианте схемы обычные DPSSL с генерацией

второй гармоники. Примером этого может являться 532 нм лазер твердотельный с диодной накачкой алюмо-иттриевого граната или ортованадата иттрия от лазерного диода 808 нм. Результат 808 нм накачки кристалла – генерация излучения на длине волны 1064 нм, которое поступает на нелинейно-оптическую систему из кристалла КТР, где идёт удвоение частоты (генерация второй гармоники) 532 нм. Другим примером является жёлтый DPSSL, в котором излучение на длине волны 808 нм преобразуется в излучение 1064 нм, которое далее преобразуется в 1342 нм и только потом осуществляется удвоение частоты. Особый интерес представляет стокова поляриметрия, по определению/по существу, являющаяся спектрополяризметрией (Wu and Walsh 2005), но её метрологическую специфику в низкобюджетной аппаратной имплементации воспроизвести не представляется возможным, поэтому её мы не затрагиваем. Так или иначе, для Hydrozoa, обладающих двумя слоями (эктодермой и энтодермой) и базальной пластинкой, технологии разработанной для более сложных организмов поляриметрии многослойных живых тканей, в предельном случае, подходят лишь в поляризационно-микроскопической имплементации (Yermolenko et al., 2008). Возможна также интеграция поляризационной рефлектометрии на чипе (аналоговом безлинзовом микроскопе (Gradov and Nasirov, 2018)) и поляризационной безлинзовой микроскопии на безлинзовом микроскопе как таковом как по Озкану (Oh et al., 2010; Zhang et al., 2016a,b; Lee et al., 2016; Ozcan et al., 2017), так и по альтернативным типам схем (Lei et al., 2013 ; Liu et al., 2017)).

Однако, с точки зрения немногочисленного поляризационного исследования, может быть в большей степени методически приемлемой вариация, реализуемая вне колоны микроскопа, но с сохранением того же сенсора и того же поляризатора. Препарат в такой схеме находится в горизонтальном положении (см. Рисунок 3).



**Рис. 3.** Безлинзовый ПЗС-микроскоп с оцифровкой и поляризатором на входном тракте



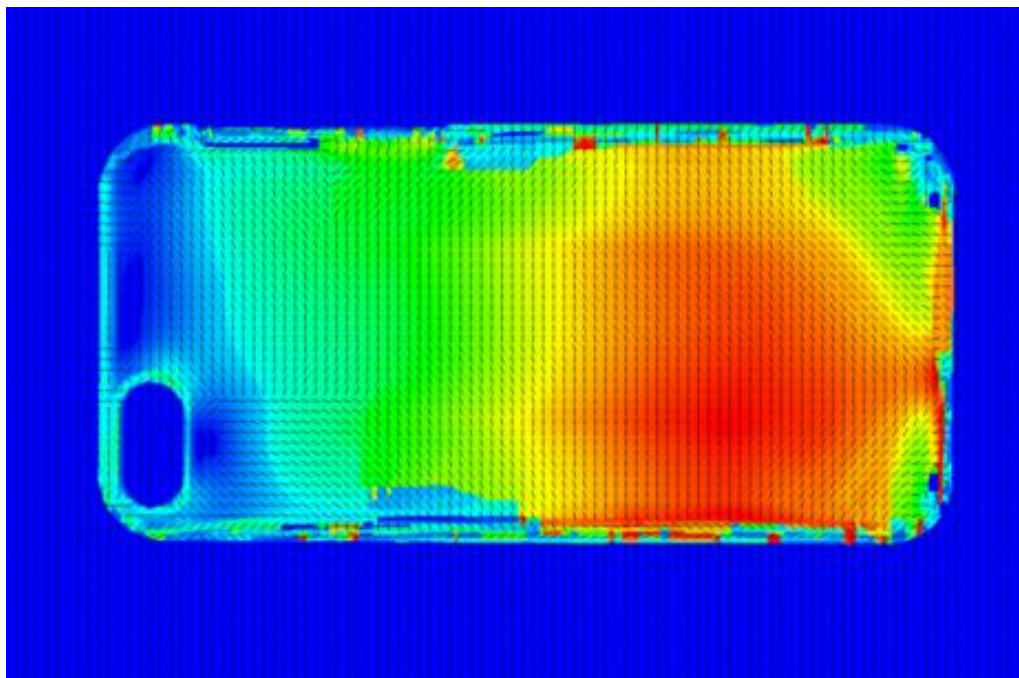
**Рис. 4а.** Визуализация DIAS [<https://www.strainoptics.com/dias-1600-digital-stress-analyzer/>]

### Препараты и расходные материалы (критерии выбора).

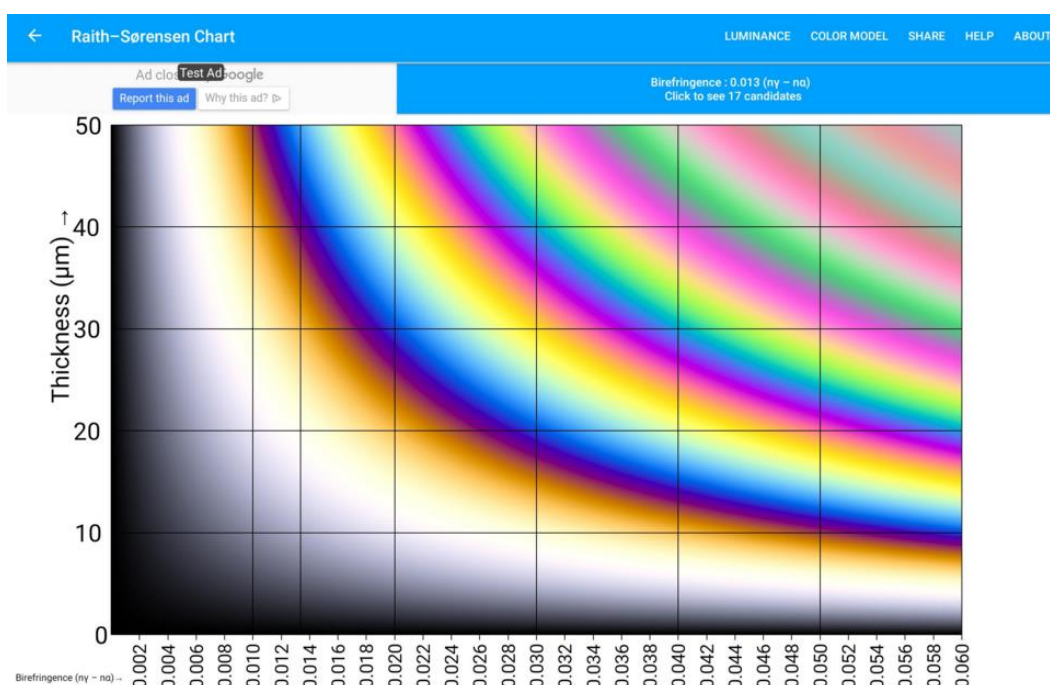
В настоящей работе исследовался фиксированный препарат гидры, поскольку методом 3D-печати не удалось достигнуть достаточной стойкости lab-on-a-chip микрофлюидики для содержания гидры в субкамере в водной среде (Nasirov, Gradov, 2019). Впоследствии нам удалось поддерживать гидробионтов в коммерчески доступных прозрачных полимерных (в частности, диагностических) чипах на безлинзовых микроскопах. Однако полимерные чипы для поляризационных измерений и исследований дихроизма не являются оптимальными – по причине ввода искажений в аналитический сигнал из-за собственной фотоэластичности, фотоупругости, фотовязкоупругости, дающих искажения за счёт собственных напряжений. В качестве примеров последних на Рисунке 3 приведены визуализации полей данных напряжений в полимерных материалах, являющиеся классическими демонстрационными файлами в ПО DIAS (Рисунок 4а), LUCEO (Рисунок 4б), BIREFRINGENCE для ANDROID (рис. 4в) либо аналоговым полярископическим путем (Рисунок 5а, Рисунок 5б). В первом программном случае визуализация не может быть преобразована в карту векторных полей, но представляет собой карту градиента. Во втором случае строится карта векторных полей – как в алгоритмах motion compensation. В третьем случае используются карты Райса-Соренсена (Raith–Sørensen chart), определение которых звучит как direct representation of interference colour as a function of birefringence and sample thickness. Данная карта (Raith–Sørensen chart) напрямую выводится из более ранних и общих представлений Мишеля-Леви, разработанных для геологических шлифов, и, входя в интерактивные базы данных определения минералов, не только является специфической в отношении полимеров, но и даёт большие погрешности при их определении, так как тонкая структура полимеров не соответствует обычным кристаллооптическим и поляризационным кристаллографическим представлениям. Общепринятое сравнительное определение карт, в котором из карт Мишеля-Леви выводятся карты Райса-Соренсена, для диапазона от 200 нм до 2500 нм, звучит так: «The chart can be offset by + or -  $\lambda$ , + or -  $\lambda/4$ . The chart can be used as a traditional nomogram, or displayed in a "simple" mode without the clutter of radial lines (which are no longer necessary on an interactive chart). Based on the methods of Sørensen, the



colors in the chart are a much truer representation of the colors seen at the microscope than existing printed nomograms (includes optical physical characteristics of candidate minerals including birefringence (minimum, maximum and mean), relief, optical character, pleochroism, color and cleavage). The Raith-Sørensen chart is a direct representation of interference color as a function of birefringence and sample thickness (из аннотации ПО; Andrew L. Barlow, "Birefringence").



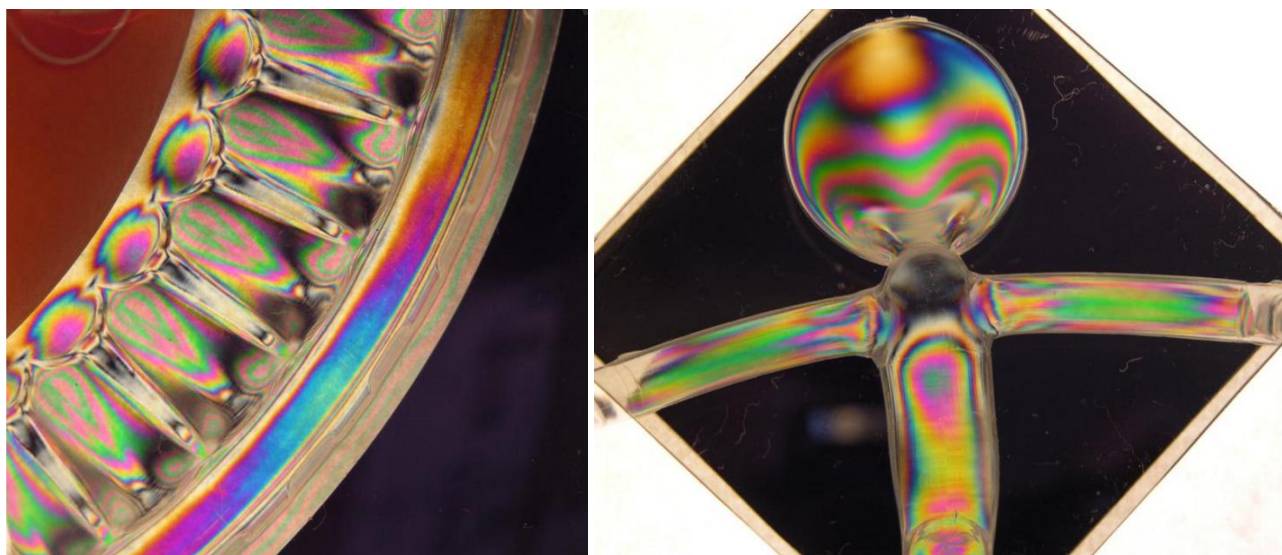
**Рис. 4б.** Визуализация в виде векторного поля в LUCEO. URL: <https://www.luceo.jp/>



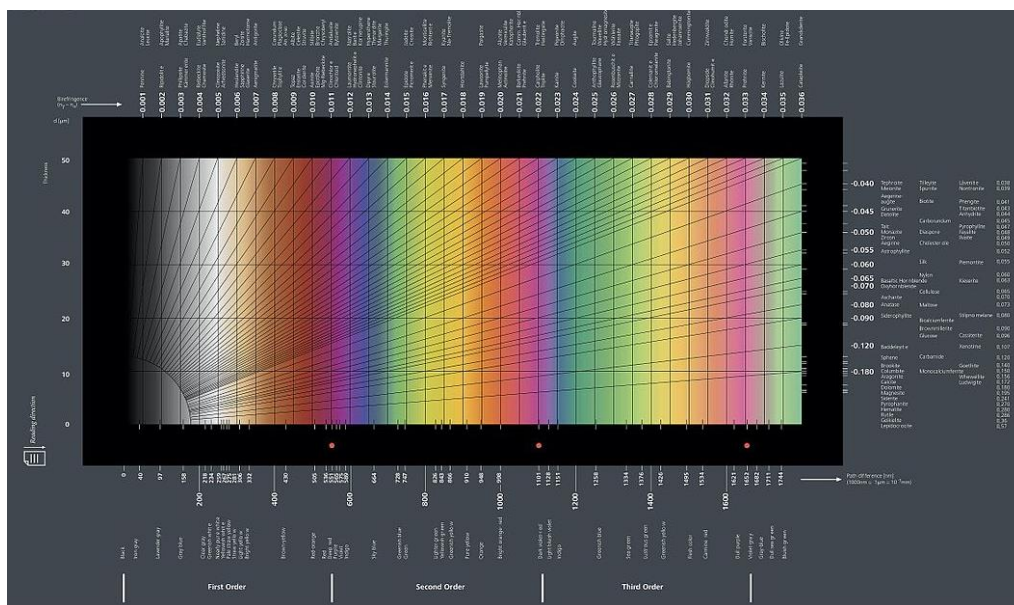
**Рис. 4в.** Визуализация карты Рейса-Соренсена в BIREFRINGENCE для ANDROID URL: <https://apkpure.com/birefringence/com.barlowax.birefringenceandroid>



В случае минеральных (например, кварцевых, слюдяных etc.) поверхностей слайд-чипа – информативной является интерференционная колориметрическая карта, типа Michel-Lévy interference colour chart (Рисунок 6), хорошо совместимая с поляризационно-микроскопическим звеном PCLEM, по причине исходного предназначения для идентификации минеральных и, *sensu lato*, геологических образцов с использованием петрографического поляризационного микроскопа (при известной толщине шлифа они имеют определенные и предсказуемые по карте цвета в поляризованном свете, и данная диаграмма может помочь идентифицировать их, так как цвета создаются разницей в скорости быстрых и медленных лучей, ведущей к двойному лучепреломлению, специфичному для идентифицированных структур).



**Рис. 5.** Аналоговое поляризационное определение напряжений в пластиковых изделиях – по учебным данным Орегонского Университета; не представляет труда сопоставление таких аналоговых картин с поляризметрическими картами и картами дихроизма или индуцированного двулучепреломления полимерных материалов  
URL: <http://people.oregonstate.edu/~rochefow>)



**Рис. 6.** Интерференционная колориметрическая карта – Michel-Lévy interference colour chart (фрагмент из Wiki-материалов ZEISS MICROSCOPY, распространяемых в открытом доступе)

Для устранения паразитного двулучепреломления, мы не стали использовать слайды с пластиковой подложкой или полимерные чипы для исследования гидр. Мы использовали в работе готовые препараты гидры (подобные распространяемым Carolina® Microscope Slides, например, под номерами {Item#} #306046, #306052, #306064, #306070, #306094, #306100, #306118) и отдельно изготовленный самодельный временный препарат на кварцевом стекле (который не демонстрируется из-за низкого качества повторно использованной подложки).

Результаты регистрации по отдельным спектрзональным каналам приведены нами в записях на страницах

1. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in B-channel. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/Xt6PNtE3RqQ> – синий светодиодный спектрзональный канал;

2. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in G-channel. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/bJHDAueSDVs> – зеленый светодиодный спектрзональный канал;

3. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in R-channel. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: [https://youtu.be/8C\\_eAp4ELvI](https://youtu.be/8C_eAp4ELvI) – красный спектрзональный канал;

в частности, результаты по парным каналам:

4. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in combined G and B channels. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/Q4ywIdr1oaA> – зеленый и синий спектрзональный каналы;

5. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in R&B channels. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/4N3hKh2q68w> – красный и синий спектрзональный каналы;

в частности, результаты двухканальных вариаций с поляризационной насадкой:

6. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in combined RG channels with polarization system POLMI A (CARL ZEISS). Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/KNwswcuIkyE>

7. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in combined GB channels with polarization system POLMI A (CARL ZEISS). Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/UlOK9ljsvbw>

8. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in RGB sequenced channels with polarization system POLMI A (CARL ZEISS). Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/Xh9ytCf2UnI>

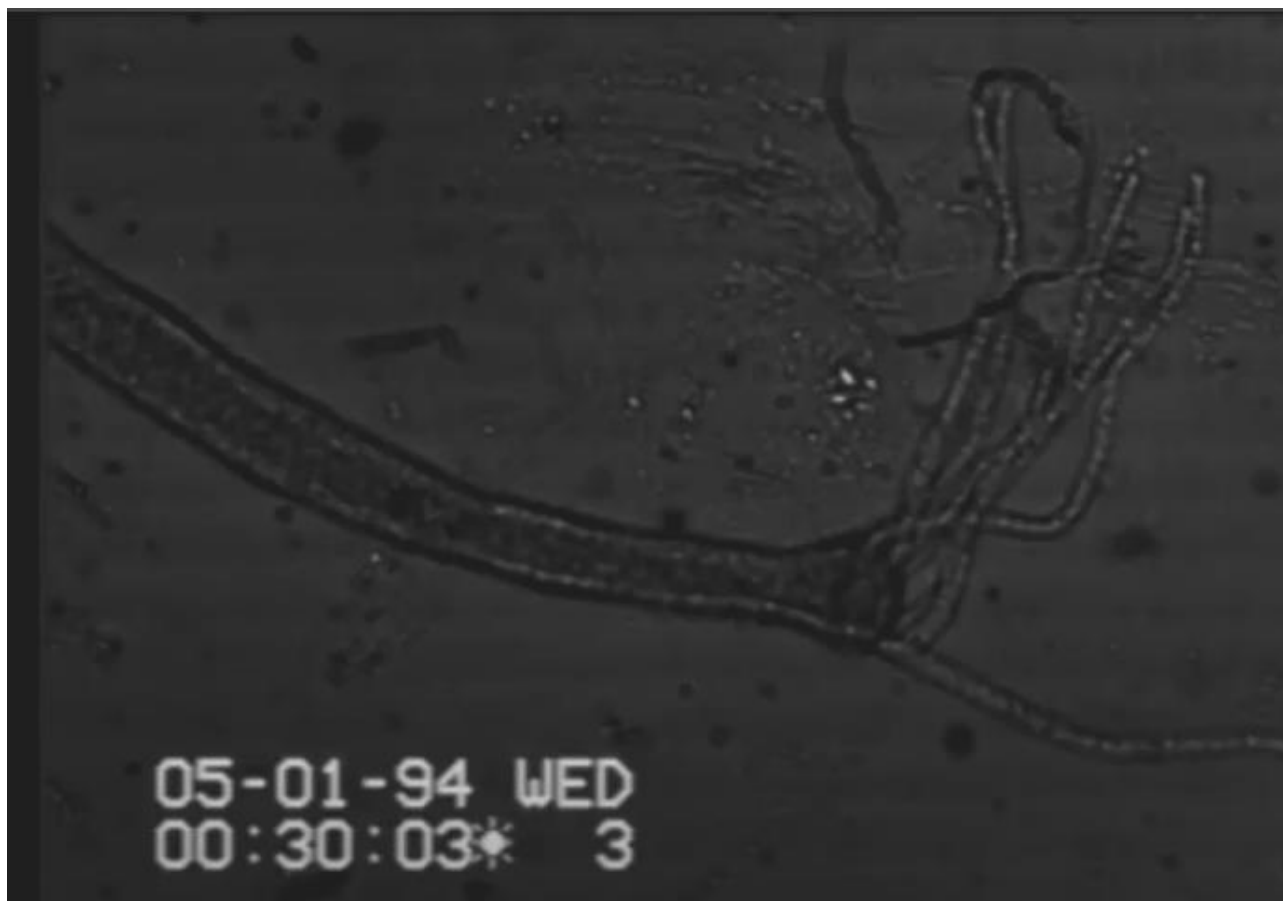
Отдельным пунктом выделена запись спектрзональной последовательности автоматически переключаемых LED (проход с растриванием при изменении режима экспозиции):

9. Gradov O.V. The Hydra: Spectrozoal lens-less imaging in R,G,B-sequenced channels. Supplement to: Lens-less microscopy of Cnidaria. Presentation (2019). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/oyTFIo4nPJo>.

Полученные результаты могут быть найдены по ссылке поиска на youtube

[https://www.youtube.com/results?search\\_query=The+Hydra%3A+Spectrozoal+lens-less](https://www.youtube.com/results?search_query=The+Hydra%3A+Spectrozoal+lens-less) и, отчасти, приведены в тексте настоящей статьи.

Приведенные в тексте настоящей статьи иллюстрации (серия на [Рисунке 7](#)) иллюстрируют изменения качества безлинзового микроскопического снимка при изменении длины волны, яркости источника и строчной «скважности» раstra. Можно видеть, что в коротковолновом варианте разрешение лучше, но, интегрально, частотно-контрастная характеристика прямо зависит не только от длины волны, но и от её рассеяния и поглощения при взаимодействии с объектом исследования. Поэтому на одних кадрах мы можем различить микроанатомию, а на других нет; на одних кадрах видны слои ткани, а на других нет.



**Рис. 7а.** Гидра. Видны наиболее яркие точки при определенной ориентации источника



**Рис. 7б.** Гидра. Видимость близких точек увеличилась, но контраст слоёв не изменился



**Рис. 7в.** Гидра. Мнимая «дефокусировка» из-за смены длины волны



**Рис. 7г.** Гидра. Переход между диапазонами с увеличением разрешения

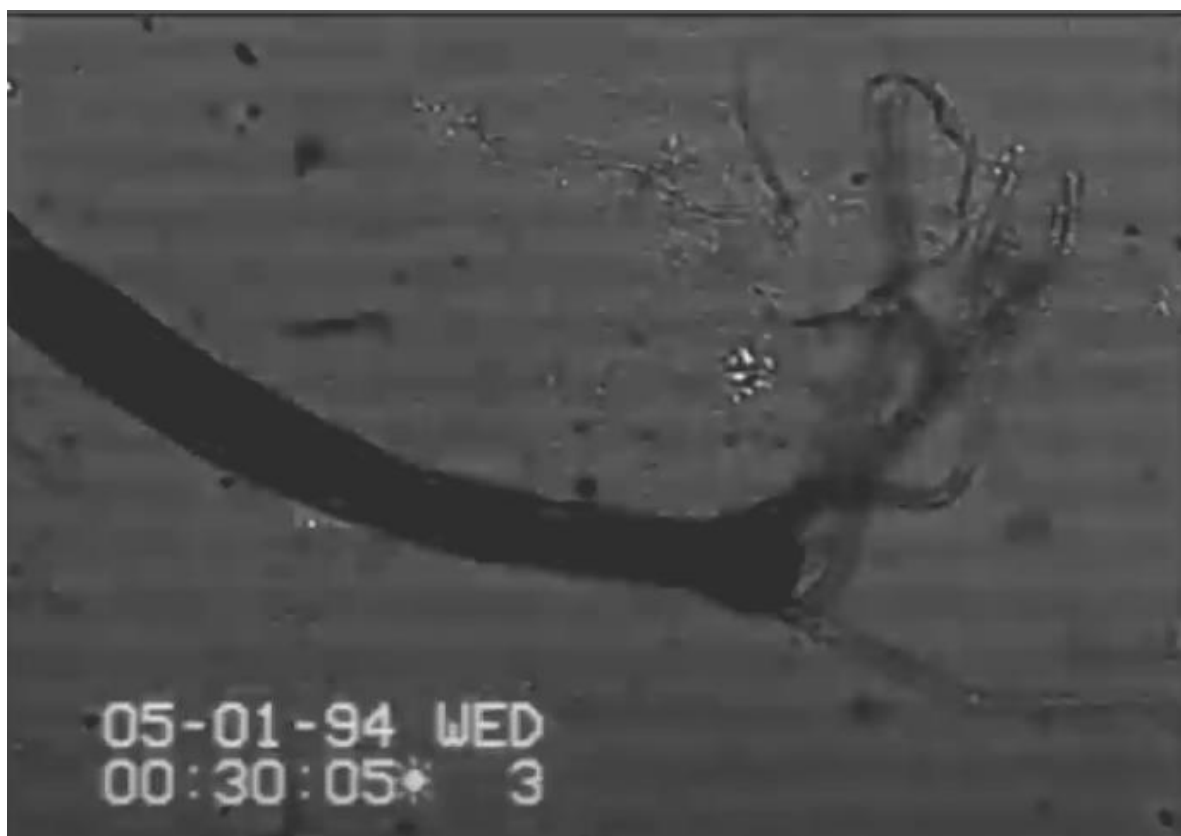




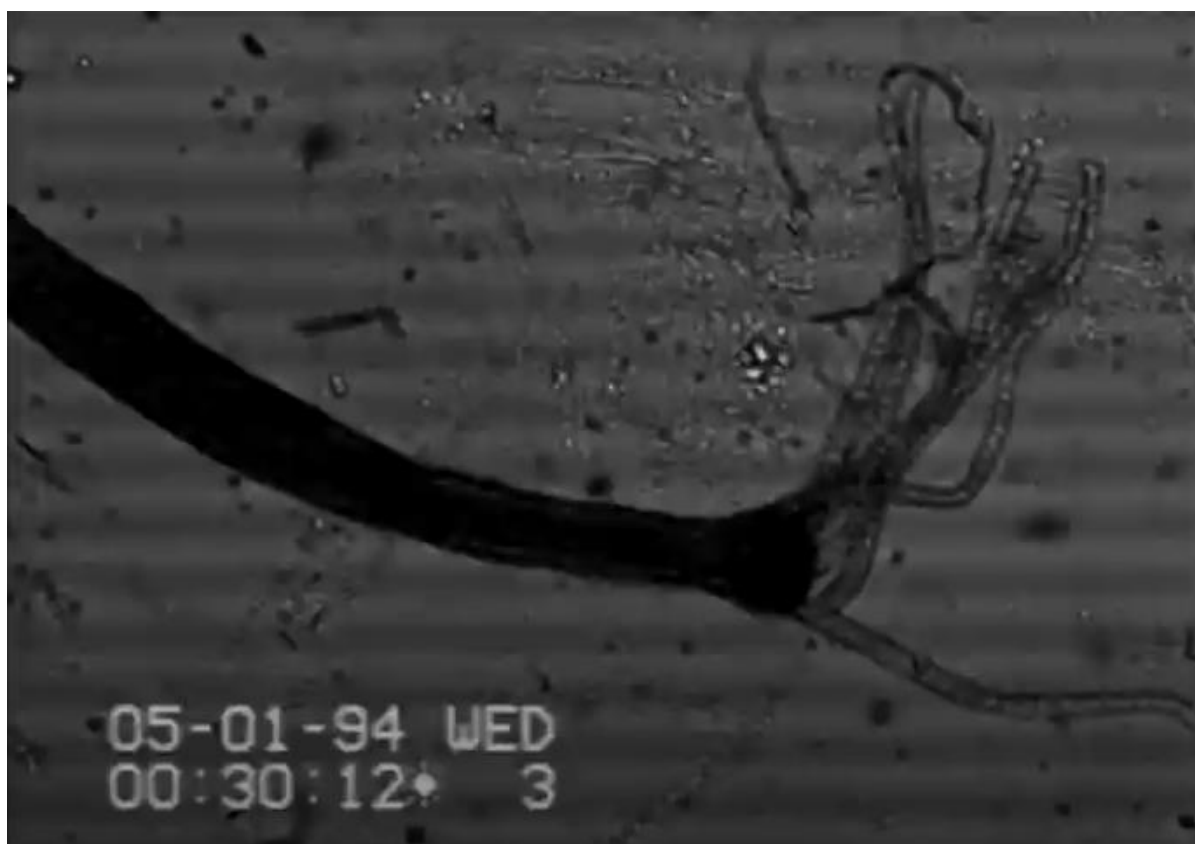
**Рис. 7д.** Гидра. Контраст увеличивается при повторном изменении спектра источника



**Рис. 7е.** Гидра. Частотно-контрастная характеристика улучшена уменьшением длин волн



**Рис. 7ж.** Гидра. Потеря резкости и контраста при переходе в красный диапазон (с растром)



**Рис. 7з.** Гидра. Улучшение оптимизацией раstra и яркости без изменения длины волны



**Рис. 7и.** Гидра. Обратный переход к визуализации, подчеркивающей слоевое строение

### 3. Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 16-32-00914 как ответвление использования разработанной в ходе его выполнения техники.

### References

- [Arndt-Jovin et al., 1976](#) – Arndt-Jovin, D.J., Ostertag, W., Eisen, H., Klimek, F., Jovin, T.M. (1976). Studies of cellular differentiation by automated cell separation. Two model systems: Friend virus-transformed cells and *Hydra attenuata*. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 24(1): 332-347.
- [Augustin et al., 2012](#) – Augustin, R., Fraune, S., Franzenburg, S., Bosch, T.C. (2012). Where simplicity meets complexity: hydra, a model for host–microbe interactions. *Recent Advances on Model Hosts* (pp. 71-81). Springer, New York, NY.
- [Beams et al., 1973](#) – Beams, H.W., Kessel, R.G., Shih, C.Y. (1973). The surface features of *Hydra* as revealed by scanning electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society*. 161-175.
- [Beißner et al., 2016](#) – Beißner, N., Lorenz, T., Reichl, S. (2016). Organ on chip. In *Microsystems for pharmatechnology* (pp. 299-339). Springer, Cham.
- [Bellantuono et al., 2015](#) – Bellantuono, A.J., Bridge, D., Martínez, D.E. (2015). *Hydra* as a tractable, long-lived model system for senescence. *Invertebrate reproduction & development*. 59(sup1): 39-44.
- [Berking, 2003](#) – Berking, S. (2003). A model for budding in *hydra*: pattern formation in concentric rings. *Journal of theoretical biology*. 222(1): 37-52.
- [Bosch, 2019](#) – Bosch, T.C. (2019). *Hydra* as Model to Determine the Role of FOXO in Longevity. *FOXO Transcription Factors* (pp. 231-238). Humana Press, New York, NY.
- [Bossert, Galliot, 2012](#) – Bossert, P., Galliot, B. (2012). How to use *Hydra* as a model system to teach biology in the classroom. *International journal of developmental biology*. 56(6-7-8): 637-652.

- Bossert, 2009 – Bossert, P.E. (2009). Hydra as a model organism to teach biology in secondary schools. *Evolutionary Ecology Research*. 11(3): 403-412.
- Böttger, Hassel, 2012 – Böttger, A., Hassel, M. (2012). Hydra, a model system to trace the emergence of boundaries in developing eumetazoans. *International Journal of Developmental Biology*. 56(6-7-8): 583-591.
- Caballero et al., 2017 – Caballero, D., Kaushik, S., Correlo, V. M., Oliveira, J.M., Reis, R.L., Kundu, S.C. (2017). Organ-on-chip models of cancer metastasis for future personalized medicine: From chip to the patient. *Biomaterials*. 149: 98-115.
- Campbell et al., 2007 – Campbell, M.C.W., Cookson, C.J., Bueno, J.M., Seaman, A.N., Kisilak, M.L. (2007, September). Confocal polarimetry measurements of tissue infected with malaria. *Frontiers in Optics* (p. FThK1). Optical Society of America.
- Campbell, 1983 – Campbell, R. (1983). Preparing histological sections for light microscopy. In “Hydra: Research Methods” (HM Lenhoff, ed.).
- Cavero et al., 2019 – Cavero, I., Guillon, J.M., Holzgreffe, H.H. (2019). Human organotypic bioconstructs from organ-on-chip devices for human-predictive biological insights on drug candidates. *Expert Opinion on Drug Safety*. 18(8): 651-677.
- Chaves, Ruvolo-Takasusuki, 2018 – Chaves, M.D.M., Ruvolo-Takasusuki, M.C.C. (2018). Hydra (Cnidaria, Hydrozoa) as a model in ecotoxicity studies. *PUBVET*. 12(7): 1-8. [in Press]
- Cochrane et al., 2019 – Cochrane, A., Albers, H.J., Passier, R., Mummery, C.L., Van Den Berg, A., Orlova, V V., van der Meer, A.D. (2019). Advanced in vitro models of vascular biology: human induced pluripotent stem cells and organ-on-chip technology. *Advanced drug delivery reviews*. 140: 68-77.
- Correspondent, 1972 – Correspondent (1972). Hydra as a Model Organism. *Nature*. 239 (5372), 366.
- Dansky, Johnson, 1985 – Dansky, L., Johnson, E. (1985). Normal histology of Hydra attenuata examined by light-microscopy of plastic embedded specimens. *Teratology*. 31(3): A52.
- Darbyshire, 2015 – Darbyshire, P.M. (2015). A Hybrid Continuous-Discrete Model of Tumour-Induced Angiogenesis is Solved Numerically in Parallel and Performance Improvements Analysed. *European Journal of Biophysics*. 3(5): 27-37.
- Day, Lenhoff, 1981 – Day, R.M., Lenhoff, H.M. (1981). Hydra mesoglea: a model for investigating epithelial cell– basement membrane interactions. *Science*. 211(4479): 291-294.
- Deines, Bosch, 2016 – Deines, P., Bosch, T.C. (2016). Transitioning from microbiome composition to microbial community interactions: the potential of the metaorganism Hydra as an experimental model. *Frontiers in microbiology*. 7: 1610.
- Duncan et al., 2008 – Duncan, D.D., Gladdish, J.C., Markway, B.D. (2008). Tissue morphology from spectral polarimetry. *Proc. SPIE*. 6858, 685809.
- Epp, Westfall, 1983 – Epp, L., Westfall, J. (1983). Comparative microscopy of hydra neurons. *American Zoologist*. 23(4): 968.
- Flower, 2000 – Fowler, S.J. (2000). Molecular analysis of glucose-induced basement membrane thickening in hydra vulgaris: a non-mammalian model for diabetic microangiopathy (Doctoral dissertation, University of Manchester).
- Fujisawa, Fujisawa, 2004 – Fujisawa, C., Fujisawa, T. (2004). A zipper model for foot formation in hydra (Developmental Biology, Abstracts of papers presented at the 75<sup>th</sup> Annual Meeting of the Zoological Society of Japan). *Zoological science*. 21(12): 1299.
- Galliot et al., 2018 – Galliot, B., Schenkelaars, Q., Suknovic, N., Wenger, Y., Austad, S., Tomczyk, S. (2018). Hydra, a model for studying the impact of autophagy on stem cell behaviour. *Invertebrate Survival Journal*. 15: 107.
- Galliot, 2012 – Galliot, B. (2012). Preface: the hydra model system. *The International Journal of Developmental Biology*. 56(6-8): 407-409.
- Ghosh, Vitkin, 2011 – Ghosh, N., Vitkin, A.I. (2011). Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications, and outlook. *Journal of biomedical optics*. 16(11): 110801.
- Gradoff, 2012 – Gradoff, O. (2012). Nonlinear dynamical systems as models of development of inorganic cells (ICHELLs) and their simple assemblies. *American Journal of Bioinformatics Research*. 2(5): 92-101.



Gradov, Nasirov, 2018 – Gradov, O.V., Nasirov, P.A. (2018). Stroboscopic microspectro-reflectometry of lens-less on-chip microscope PCB with CCD. *IEEE DataPort*. DOI: 10.21227/f397–db48.

Gradov, Orekhov, 2019 – Gradov, O.V., Orekhov, F.K. (2019). Multiple Projection Laser Microscopy in the Ulbricht Integrating Sphere (MPLM-UIS) using lens-less microscopes with CCD and CMOS (active-pixel) sensors, including angle sensitive ones. *Morphologia*. 13(2): 81-93. [in Russian]

Gradov et al., 2018 – Gradov, O.V., Nasirov, P.A., Jablokov, A.G. (2018). Lensless on-chip-hemocytometry with secondary processing of cell images in the framework of an unconventional photometric model. *Photonics Russia*. 12(7): 716-729.

Gradov, 2011 – Gradov, O.V. (2011). The grid method (Bezier – d'Arcy-Thompson) in the reconstruction of morphogenesis and abiogenesis: elementary biomimetic model. *Morphologia*. 5(3): 5-23.

Gradov, 2012 – Gradov, O.V. (2012). Digital lab-on-a-chip as analog of soil chambers and Rossi-Cholodny slides. *International Symposium "Cooperation in Biotechnology, Agriculture, Forestry, Fisheries & Food" (7-th Fr. Progr.)*, pp. 17-18.

Gradov, 2015 – Gradov, O.V. (2015). Shaking-rotating cultivation neurogoniometry: synchronous technique for gradient cultivation of fish neural tissues and cell cultures on the five-axis mechanized stage and direct time-lapse morphometry of differentiation and proliferation of neural cells. *The Cell Cultures of Marine and Freshwater Animals*. P. 12. Institute of Marine Biology Institute of Marine Biology.

Gradov, 2018 – Gradov, O.V. (2018). Towards Polarizing Correlative Light-Electron Microscopy (PCLEM). *Morphologia*. 12(3): 146-150.

Gradov, 2018 – Gradov, O.V. (2018). Multi-angle goniometric computer-assisted lab-on-a-chip reading system stage for vacuum-gas chambers based on analytical scanning electron microscopy platform (goniometric CLEM chambers). *Comput. nanotech.* (4): 9-16.

Gradov, 2019 – Gradov, O.V. (2019). Novel perspectives for CLEM techniques in multiparametric morphology protocols. *International Journal of Biomedicine*. 9(Suppl. 1): P. 39.

Greier, 1974 – Gierer, A. (1974). Hydra as a model for the development of biological form. *Scientific American*. 231(6): 44-55.

Hemmrich et al., 2007 – Hemmrich, G., Anokhin, B., Zacharias, H., Bosch, T.C. (2007). Molecular phylogenetics in Hydra, a classical model in evolutionary developmental biology. *Molecular phylogenetics and evolution*. 44(1): 281-290.

Holstein et al., 2010 – Holstein, T.W., Hess, M.W., Salvenmoser, W. (2010). Preparation techniques for transmission electron microscopy of Hydra. *Methods in cell biology*. Vol. 96. Pp. 285-306. Academic Press.

Hunter, 1993 – Hunter, S.E. (1993). Histological technique for mesogleal measurements with light microscopy and mesogleal changes in Hydra vulgaris littoralis due to glucose exposure (Doctoral dissertation).

Kieninger et al., 2018 – Kieninger, J., Weltin, A., Flamm, H., Urban, G.A. (2018). Microsensor systems for cell metabolism—from 2D culture to organ-on-chip. *Lab on a Chip*. 18(9): 1274-1291.

Kim et al., 2010 – Kim, B., Won, H., Jeon, H.Y., Woo, S., Yum, S. (2010). Biototoxicity of sodium nitrite, cadmium chloride and toxaphene in Hydra, a Cnidarian model. *Molecular & Cellular Toxicology*. 6(3): 36-36.

Koizumi, 2002 – Koizumi, O. (2002). Developmental neurobiology of hydra, a model animal of cnidarians. *Canadian Journal of Zoology*. 80(10): 1678-1689.

Lee et al., 2016 – Lee, S.Y., Zhang, Y., Furst, D.E., Rosenthal, A., Schumacher, R., FitzGerald, J., Ozcan, A. (2016). Computational Polarizing Microscopy: A Novel Method to Detect Birefringent Crystals Using Lens-Free on-Chip Microscopy. *Arthritis and Rheumatology*. 68.

Lei et al., 2013 – Lei, S., Chen, L., He, X.F., Hu, Y.H., Lei, L. (2013). Lensless Fourier Transform Digital Holography Based on Polarization Image Fusion and Optical Fiber. *Journal of Huaqiao University (Natural Science)*. (2), 7. [in Chinese]

Liu et al., 2017 – Liu, X., Yang, Y., Han, L., Guo, C.S. (2017). Fiber-based lensless polarization holography for measuring Jones matrix parameters of polarization-sensitive materials. *Optics Express*. 25(7): 7288-7299.

- Macdonald et al., 2014 – Macdonald, C., Doronin, A., Peña, A.F., Eccles, M., Meglinski, I. (2014). Diffusing-wave polarimetry for tissue diagnostics. *Proc. SPIE*. 8940, 894007.
- Meinhardt, 1993 – Meinhardt, H. (1993). A model for pattern formation of hypostome, tentacles, and foot in hydra: how to form structures close to each other, how to form them at a distance. *Developmental biology*. 157(2): 321-333.
- Michael, 2019 – Michael, P.S. (2019). Hydra as a unique model for the study of regenerative mechanisms in metazoans. *MOJ Anat & Physiol*. 6(5): 151-153. [in Press]
- Murate et al., 1996 – Murate, M., Takahashi-Iwanaga, H., Kurosaki, R., Takeda, M., Koizumi, O. (1996). Scanning electron microscopy of endodermal sensory cells of Hydra magnipapillata. *Cell and tissue research*. 283(3): 455-459.
- Murugadas et al., 2019 – Murugadas, A., Zeeshan, M., Akbarsha, M.A. (2019). Futuristic Approach to Alternative Model Organisms: Hydra Stakes Its Claim. *Alternatives to Animal Testing* (pp. 110-123). Springer, Singapore.
- Murugadas et al., 2016 – Murugadas, A., Zeeshan, M., Thamaraiselvi, K., Ghaskadbi, S., Akbarsha, M.A. (2016). Hydra as a model organism to decipher the toxic effects of copper oxide nanorod: Eco-toxicogenomics approach. *Scientific reports*. 6(1): 1-14.
- Nasirov, Gradov, 2019 – Nasirov, P.A., Gradov, O.V. (2019, May 6). Lab-on-a-dish rapid prototyping and microscopic investigations of lab-on-a-dish geometries (including dye diffusion studies) [Original publication date: 2018-03-22]. ENGINEERING ARXIV (ENGRXIV). DOI: <https://doi.org/10.31224/osf.io/2aub6>
- Nasirov et al., 2018a – Nasirov, P.A., Jablovkov, A.G., Gradov, O.V. (2018). Technical and methodical notes on the lensless holographic microscopy applications for helminthology and zooparasitology. case i: Spectrozonol/multispectral analysis of ascaris lumbricoides based on coherent and incoherent light sensor platforms. *Central European Journal of Zoology*. 4(1): 3-12.
- Nasirov et al., 2018b – Nasirov, P.A., Jablovkov, A.G., Orekhov, T.K., Gradov, O.V. (2018). Spectrozonol lens-less imaging of the fish tissue: Raw data and symmetry analysis. *Central European Journal of Zoology*. 4(1): 40-58.
- Notchenko, Gradov, 2013a – Notchenko, A.V., Gradov, O.V. (2013). Elementary morphometric labs-on-a-chip based on hemocytometric chambers with radiofrequency culture identification and relay of spectrozonol histochemical monitoring. *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2(1): 1-27.
- Notchenko, Gradov, 2013b – Notchenko, A.V., Gradov, O.V. (2013). A five-axis arm-manipulator laser system & an algorithm for digital processing of output data for recording and morpho-topological identification of cells and tissue structures. *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2(1): 1-33.
- Nykolay, Shahid, 2019 – Nykolay, A., Shahid, A. (2019). Immortal Hydra as a Model Organism for Metal Toxicity Studies. *Sciential-McMaster Undergraduate Science Journal*. (2): 2-8. [in Press]
- Oh et al., 2010 – Oh, C., Isikman, S., Ozcan, A. (2010, May). Lensfree polarization microscopy on a chip using incoherent digital holography. *Conference on Lasers and Electro-Optics: Applications [Optical Society of America]* (p. AMB4).
- Ozcan et al., 2017 – Ozcan, A., Zhang, Y., Lee, S.Y., Fitzgerald, J.D. (2017). U.S. Patent Application No. 16/302,087.
- Quinn et al., 2012 – Quinn, B., Gagné, F., Blaise, C. (2012). Hydra, a model system for environmental studies. *International Journal of Developmental Biology*. 56(6-7-8): 613-625.
- Santillo et al., 2005 – Santillo, S., Orlando, P., De Petrocellis, L., Cristino, L., Guglielmotti, V., Musio, C. (2005, October). Molecular and functional diversity of visual pigments: clues from the photosensitive opsin-like proteins of the animal model Hydra. *International Symposium on Brain, Vision, and Artificial Intelligence* (pp. 225-234). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sasaki et al., 2004 – Sasaki, K., Yasui, T., Tohno, Y., Araki, T. (2004, December). Tomographic imaging of collagen fiber orientation in human tissue using depth-resolved polarimetry of second-harmonic-generation light. *IEEE The Second Asian and Pacific Rim Symposium on Biophotonics, 2004. APBP 2004*. (pp. 205-206).
- Schenkelaars et al., 2019 – Schenkelaars, Q., Boukerch Akrou, S., Galliot, B. (2019). Freshwater Cnidarian Hydra: A Long-lived Model for Aging Studies. *Encyclopedia of Biomedical Gerontology*. 125. [in Press]

- Schincariol, Habowsky, 1972 – Schincariol, A.L., Habowsky, J.E.J. (1972). Germinal differentiation of the stem cell in *Hydra fusca*: a model system. *Canadian Journal of Zoology*. 50(1): 5-12.
- Shahkolahi, 1983 – Shahkolahi, A.M. (1983). Distribution of Microtubules in Epitheliomuscular Cells of *Hydra* by Indirect Immunofluorescence Microscopy (Doctoral dissertation, Sangamon State University).
- Shimizu, Sawada, 1984 – Shimizu, H., Sawada, Y. (1984). Quantitative interpretation of lateral grafting experiment by takano et al by activator-inhibitor model in *Hydra*. *Development Growth and Differentiation*. 26(4): 381.
- Shimizu et al., 1983 – Shimizu, H., Ando, H., Sawada, Y. (1983). The limit of effectiveness of the activator-inhibitor model in *hydra*. *Development Growth and Differentiation*. 25(4): 437.
- Stiven, 1973 – Stiven, A.E. (1973). *Hydra-Hydramoeba*: A model system for the study of epizootic processes. *Current Topics in Comparative Pathobiology*. Vol. 2, pp. 145-212. Elsevier.
- Suknovic, 2019 – Fraune, J., Wiesner, M., Benavente, R. (2014). The synaptonemal complex of basal metazoan *hydra*: more similarities to vertebrate than invertebrate meiosis model organisms. *Journal of Genetics and Genomics*. 41(3): 107-115.
- Suknovic, 2019 – Suknovic, N.S. (2019). *Hydra*, a model for studying the role of injury-induced ROS signalling during regeneration and monitoring the autophagy flux in live animals (Doctoral dissertation, University of Geneva).
- Takahashi-Iwanaga et al., 1994 – Takahashi-Iwanaga, H., Koizumi, O., Fujita, T. (1994). Scanning electron microscopy of the muscle system of *Hydra magnipapillata*. *Cell and tissue research*. 277(1): 79-86.
- Terracciano et al., 2019 – Terracciano, M., De Stefano, L., Tortiglione, C., Tino, A., Rea, I. (2019). In Vivo Toxicity: In Vivo Toxicity Assessment of Hybrid Diatomite Nanovectors Using *Hydra vulgaris* as a Model System. *Advanced Biosystems*. 3(4): 1970042. [in Press]
- Tomczyk et al., 2015 – Tomczyk, S., Fischer, K., Austad, S., Galliot, B. (2015). *Hydra*, a powerful model for aging studies. *Invertebrate reproduction & development*. 59(sup1): 11-16.
- Ushenko et al., 2000 – Ushenko, A.G., Ermolenko, S.B., Burkovets, D.N., Ushenko, Y.A. (2000). Laser polarimetry of the orientation structure of bone tissue osteons. *Journal of Applied Spectroscopy*. 67(1): 65-69.
- Ushenko et al., 2015 – Ushenko, O.G., Dubolazov, O.V., Ushenko, V.O., Gorsky, M.P., Soltys, I.V., Olar, O.V. (2015). Fourier polarimetry of the birefringence distribution of myocardium tissue. *Proc. SPIE*. 9809, 980915.
- Ushenko et al., 2017 – Ushenko, Y.O., Vanchuliak, O., Bodnar, G.B., Ushenko, V.O., Pavlyukovich, N., Pavlyukovich, O.V., Antonyuk, O. (2017). Scale-selective polarimetry of the birefringence distribution of myocardium tissue. *Proc. SPIE*. 10352, 103520R.
- van Der Helm et al., 2016 – van Der Helm, M.W., Van Der Meer, A.D., Eijkel, J.C., van den Berg, A., Segerink, L.I. (2016). Microfluidic organ-on-chip technology for blood-brain barrier research. *Tissue barriers*. 4(1): e1142493.
- Vasseur, Pachura, 2006 – Vasseur, P., Pachura, S. (2006). A *Hydra* model to evaluate developmental impact. *Environnement, Risques & Santé*. 5(4): 280-283.
- Vogg et al., 2019 – Vogg, M.C., Galliot, B., Tsiairis, C.D. (2019). Model systems for regeneration: *Hydra*. *Development*. 146(21). [in Press]
- Wallenburg et al., 2010 – Wallenburg, M.A., Wood, M.F., Ghosh, N., Vitkin, I.A. (2010). Polarimetry-based method to extract geometry-independent metrics of tissue anisotropy. *Optics letters*. 35(15): 2570-2572.
- Wang et al., 2002 – Wang, L.V., Coté, G.L., Jacques, S.L. (2002). Special section guest editorial – Tissue polarimetry. *Journal of Biomedical Optics*. 7(3): 278.
- Westfall, Epp, 1985 – Westfall, J.A., Epp, L.G. (1985). Scanning electron microscopy of neurons isolated from the pedal disk and body column of *Hydra*. *Tissue and Cell*. 17(2): 161-170.
- Westfall et al., 1971 – Westfall, J.A., Yamataka, S., Enos, P. (1971). Scanning and transmission electron microscopy of nematocyst batteries in epitheliomuscular cells of *Hydra*. *Proc. 29th Ann. Soc. Electron Micros. Soc. Am.* (pp. 410-411). Claitor's Publ. Div. Baton Rouge.
- Wood, 1959 – Wood, R.L. (1959). Intercellular attachment in the epithelium of *Hydra* as revealed by electron microscopy. *The Journal of Cell Biology*. 6(3): 343-352.



- Wood, 1983a – Wood, R.L. (1983). Preparing hydra for transmission electron microscopy. *Hydra: Research Methods* (pp. 87-94). Springer, Boston, MA.
- Wood, 1983b – Wood, R.L. (1983). Preparing Hydra for scanning electron microscopy. *Hydra: Research Methods* (pp. 95-104). Springer, Boston, MA.
- Wu, Walsh, 2005 – Wu, P.J., Walsh Jr, J.T. (2005). Stokes polarimetry imaging of rat-tail tissue in a turbid medium using incident circularly polarized light. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*. 37(5): 396-406.
- Yasui et al., 2002 – Yasui, T., Shimabayashi, K., Kawaguchi, H., Tohno, Y., Iwata, T., Araki, T. (2002). Polarimetry of second-harmonic-generation light sensitive to orientation of tissue collagen. *Abst. International Conference on Optics Within Life Science VII* (p. 19).
- Yasui et al., 2005 – Yasui, T., Sasaki, K., Tohno, Y., Araki, T. (2005). Tomographic imaging of collagen fiber orientation in human tissue using depth-resolved polarimetry of second-harmonic-generation light. *Optical and quantum electronics*. 37(13-15): 1397-1408.
- Yermolenko et al., 2008 – Yermolenko, S., Prydij, A., Vladychenko, K. (2008). Polarimetry of multi-layer biological tissue. *Proc. SPIE*, 7008, 70082D.
- Yum et al., 2014 – Yum, S., Woo, S., Lee, A., Won, H., Kim, J. (2014). Hydra, a candidate for an alternative model in environmental genomics. *Molecular & Cellular Toxicology*. 10(4): 339-346.
- Zeeshan et al., 2017 – Zeeshan, M., Murugadas, A., Ghaskadbi, S., Ramaswamy, B.R., Akbarsha, M.A. (2017). Ecotoxicological assessment of cobalt using Hydra model: ROS, oxidative stress, DNA damage, cell cycle arrest, and apoptosis as mechanisms of toxicity. *Environmental pollution*. 224: 54-69.
- Zhang et al., 2016a – Zhang, Y., Lee, S. Y. C., Zhang, Y., Furst, D., Fitzgerald, J., Ozcan, A. (2016). Wide-field imaging of birefringent synovial fluid crystals using lens-free polarized microscopy for gout diagnosis. *Scientific reports*. 6: 28793.
- Zhang et al., 2016b – Zhang, Y., Lee, S. Y., Zhang, Y., Furst, D., Fitzgerald, J., Ozcan, A. (2016). Wide-field synovial fluid imaging using polarized lens-free on-chip microscopy for point-of-care diagnostics of gout. *Proc. SPIE*, 9699, 96990F.
- Zhang et al., 2018 – Zhang, B., Korolj, A., Lai, B. F. L., Radisic, M. (2018). Advances in organ-on-a-chip engineering. *Nature Reviews Materials*. 3(8): 257-278.
- Ziuzina et al., 2018 – Ziuzina, D., Sarangapani, C., Boehm, D., Bourke, P. (2018). Hydra as a Model for Screening Ecotoxicological Effects of Plasma-Treated Water. *Plasma Medicine*. 8(3). [in Press]

**Аналоговая некогерентная спектрозональная безлинзовая микроскопия пресноводных кишечнорастных рода *Hydra*: варианты с растровым сканированием и со сдвигом длины волны и переходами между спектральными диапазонами**

Олег Валерьевич Градов<sup>а, \*</sup>

<sup>а</sup> Институт энергетических проблем химической физики, Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматривается новая техника микроскопического исследований для зоологии беспозвоночных и гидробиологии. Предлагаемый метод основан на принципах безлинзовой микроскопии, осуществляемой в аналоге варианте (в том числе, при наличии оцифровки на периферическом звене) с использованием монохромных приборов с зарядовой связью и перестройкой длины волны на уровне источника. Апробированные автором ранее варианты с применением трубок с использованием внутреннего фотоэффекта типа видикон/плюмбикон, а также трубок с использованием внешнего фотоэффекта типа суперортикона и других не были рассмотрены как достойная альтернатива полупроводниковых матричных ПЗС-детекторов, в силу

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [o.v.gradov@gmail.com](mailto:o.v.gradov@gmail.com) (О.В. Градов)



недостаточности резольвометрических характеристик, по критериям клеточного разрешения большинства гидробиологических объектов, а также в силу смещающего частотно-контрастную функцию детекторов «эффекта черного ортikonного гало» в облучаемых ROI ("black orthicon halo"), обусловленного избыточной эмиссией фотоэлектронов, приводящей к накоплению заряда. В статье приводятся одни из наиболее старых данных, полученных лично автором на самостоятельно собранной экспериментальной установке на (ПЗС), доступной для сборки неспециалистом; поэтому статья может считаться также пособием по DIY-изготовлению соответствующих установок зоологического применения. На данный момент установки подобного рода могут применяться также в совокупности с лазерными источниками (например, лазерами с диодной накачкой, DPSSL) и поляризационными компонентами оптического тракта. При использовании стандартных средств аналоговой видеорегистрации можно использовать временной, адресно-временной код, встраиваемый в регистрограмму, в том числе – в цейтраферном режиме, что удобно для динамических зоологических исследований. А в случае цифровой регистрации с регулируемой скоростью потока аналогичный код позволит использовать скоростные режимы с временным разрешением вплоть до микросекунд.

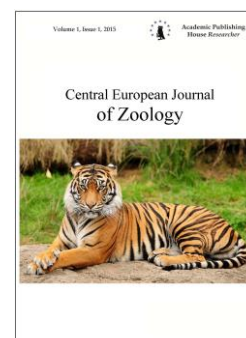
**Ключевые слова:** безлинзовая микроскопия, *Hydra* sp., Anthoathecata, Hydridae, Hydrozoa, Cnidaria.

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
Central European Journal of Zoology  
Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019, 5(1): 46-54

DOI: 10.13187/cejz.2019.1.46

[www.ejournal40.com](http://www.ejournal40.com)

## Biochemical Changes in Blood of African Catfish (*Clarias Gariepinus* Burchell, 1822) during Artificial Spawning Using Different Doses of Human Chorionic Gonadotropin (HCG) Hormone

Sayed R.S. Zidan <sup>a</sup>, Hamed H.E. Saleh <sup>b,\*</sup>, Ahmed I. Semaida <sup>a</sup>, Ramadan M. Abou-Zied <sup>a</sup>, Sobhy M. Allam <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Animal Production Department, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Egypt

<sup>b</sup> Aquaculture Division, National Institute of Oceanography and Fisheries (NIOF), El-Fayoum, Egypt

### Abstract

This study was conducted to investigate the effect of different doses injection of human chorionic gonadotropin (HCG) hormone on blood biochemical parameters during artificial spawning of African catfish (*Clarias gariepinus*). African catfish spawners were intermuscularly injected with different doses of HCG (500, 1500, 3000, 6000 IU/kg female), and group is not injected as a control; males were injected at half the female dose. In the present study, who observed that hormonal injection by HCG hormone in male and female African catfish led to disturbance in all biochemical parameters such as serum total protein, glucose level, liver enzymes (AST and ALT activates), cholesterol, and (creatinine and urea) and cortisol concentrations. Serum total protein that recorded in female decreased with increasing HCG dose than that in the control. The lower glucose levels in female were observed with fish injected by 3000 and 6000 IU/kg female. African catfish male that injected with HCG were recorded higher levels of glucose than those obtained in the control group. The levels of serum glucose in male groups were higher than those recorded in female groups. Cholesterol levels were showed relatively decreased in male groups treated with HCG than that in the control group. The levels of ALT in fish that treat with HCG significantly increased than that the control group. Serum cortisol levels were increased in females and males after hormonal injection with HCG as compared to the control group. Under this conditions (the disturbance in biochemical parameters) tested in this study, the highest numbers of fertilized eggs/ female and fertilization rate, number of larvae/female and hatching rate were observed with 6000 IU/ kg female. While the incubation egg with 500 IU/kg female don't showed any hatching larvae. It was observed, increased in reproductive performance with the increase in HCG dosage.

**Keywords:** African catfish, HCG hormone, serum total protein, glucose, liver enzymes (AST and ALT), cholesterol, creatinine, urea and cortisol, fertilization and hatching rate.

### 1. Introduction

African catfish (*Clarias gariepinus*) is one of the most widely produced food fish in the world (Al Dohail, 2005; Sutriana, 2007) and it considered a native fish in all freshwater bodies of Egypt (Saleh, 2007). The advantages that make this species a good choice to aquaculture including faster

\* Corresponding author

E-mail addresses: [hhsaleh90@gmail.com](mailto:hhsaleh90@gmail.com) (H.H.E. Saleh), [srs11@fayoum.edu.eg](mailto:srs11@fayoum.edu.eg) (S.R.S. Zidan)

growth rate and its bigger maturity size, easy to reproduce, accepts artificial feeds, tolerates to high stocking densities, adapting with poor water quality, high resistance to disease, lucrative in local regional and international markets, and its economic feasibility in earthen pond culture systems, the most common culture system in East African Community (Teugels, 1986). However, lack of constantly available seed, low egg fertilization rate and low hatching rate are considered as the main obstacles (El-Sayed, 1999). In Africa, by 2004 Clariid catfish production recorded 32077 tonnes and then increased to reach into 208013 tonnes by 2010 meanwhile, Egyptian total production of African catfish increased from 459 tonnes in 2004 to 9719 tonnes in 2010 and then reached into 36487 tonnes in 2016 with 2.13 % of total fish production (FAO, 2012; GAFRD, 2017).

The illustration of the physiological pathway controlling reproduction in fish requires a basic conception of nutrient mobilization toward the gonads and hormonal changes that occur during the reproductive cycle. These fluctuations are affected by nutritional, environmental and social factors furthermore, the size and age of an individual teleost fish. During the reproductive cycle of fin fish, macronutrients such as lipid and protein with high amounts should be transferred to growing oocytes (Jerez et al., 2006).

Biochemical parameters are important for the enough monitoring and are reflection the physiological status of the fish, particularly during artificial spawning of fish (Suljevic et al., 2017). Furthermore, numerous studies have reported that the blood biochemical parameters in teleost fish are affected by sexual maturation, age, species, feeding regime, temperature, reproductive status, induction spawning, stress, diseases and anesthesia (Patriche et al., 2009; Yeganeh, 2012; Shokr, 2020).

Shokr (2020) showed that the increase in the creatinine, uric acid, AST and ALT activities, and level of plasma glucose due to stress in the fish as results of hormonal injection that used to induce spawning, and reported that disturbance in all biochemical parameters such glucose level, plasma total protein, AST and ALT activities and (creatinine and uric acid) concentrations as a result of stress of GnRH injection on African catfish that reflect the disturbance in all metabolic function.

The objective of the present study was, to evaluate the overall effects of different doses injection of human chorionic gonadotropin (HCG) hormone on blood biochemical parameters (serum total protein, albumin, glucose, cholesterol, liver enzymes (AST and ALT activates), creatinine and urea and cortisol) of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822).

## 2. Materials and methods

The present study was carried out at the Fish Farm in Agricultural Consulting Center, Faculty of Agriculture, El-Fayoum University, Egypt, in August 2019.

African catfish (*Clarias gariepinus*) broodstock used in this study were purchased alive and in good condition from private fish farm, El-Fayoum Governorate, Egypt and then stock and maintained the female fish separated from the male fish in rectangular tanks (3×2×1.2 m<sup>3</sup>), supplied with aerated water, where tanks water was continually replaced for 14 days for fish acclimatization to farm water conditions. Twenty five ripe females and Twenty five ripe males with sex ratio (1:1 male ♂: female ♀) were selected for the breeding experiment. Ripeness of females was determined by external morphological characteristics the females had a soft, distended abdomen and round swollen genital papilla and readiness to spawn. The females were ranged from 505-615 g/fish in body weight and 41.5-49.5 cm/fish in body length, while the males were ranged from 420-670 g/fish in body weight and 42.5-51 cm/fish in body length.

The male and female brooders were grouped into four treatments with five replicates each. African catfish (*Clarias garipains*) spawners were intermuscularly injected with different doses of human chorionic gonadotropin (HCG) hormone, the commercial name is (choriomon®). The doses were 500 (T<sub>1</sub>), 1500 (T<sub>2</sub>), 3000 (T<sub>3</sub>) and 6000 (T<sub>4</sub>) IU/Kg body weight of female and 250 (T<sub>1</sub>), 750 (T<sub>2</sub>), 1500 (T<sub>3</sub>) and 3000 (T<sub>4</sub>) IU/Kg body weight of male and group is not injected as a control. The injection was made in the evening between 5 pm and 6 pm, and after that, the injected females were returned into the containers until the checking for ovulation.

Water temperature around 29.5 °C, pH around 8.15 and dissolved oxygen concentration 6.37 mg/l approximately during the experimental period. Fish were held under natural photoperiod condition throughout the experimental period.

Blood samples were collected from the caudal vein (each female and male) at 12 hrs post-injection without anticoagulant then transferred to Wasserman tubes. Blood was allowed to clot at room temperature for 45 min then centrifuged at 3500 rpm for 20 minute to obtain serum sample (Mehrim et al., 2014). The serum samples were pipetted into Eppendorf tube, labeled and stored in deep freeze at  $-20^{\circ}\text{C}$  till assayed. Serum total protein, albumin, glucose, cholesterol, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), urea, and creatinine were determined enzymatic colorimetric using commercial kits by BioSystem BTS-302 device. Cortisol was quantitatively analyzed using commercial kits by *i-CHROMA*<sup>TM</sup> Reader System.

Blood biochemical parameters were analyzed as mean  $\pm$  standard error of the mean (S.E.M). The obtained data were subjected to one-way ANOVA. Differences between means were tested at the 5 % probability level using Waller Duncan's test. All the statistical analyses were done using Statistical Package for Social Sciences program (SPSS) for Windows (SPSS, 2015) 23, released version.

### 3. Results

#### Blood biochemical parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*) female.

The results of blood biochemical parameters that recorded when induced spawning of female African catfish *C. gariepinus* by different doses from HCG hormone were summered in Table 1. The results showed that the induced spawning by different doses of HCG for African catfish had significant effects ( $P \leq 0.05$ ) on blood biochemical parameters (serum total protein, glucose, cholesterol, AST, ALT and urea), while, its showed insignificant differences ( $P > 0.05$ ) between treatments in albumin, creatinine and cortisol.

The results in Table 1 showed that the highest level of serum total protein was observed in  $T_1$  ( $4.5 \pm 0.11$  g/ dl), while the lowest level was recorded in  $T_3$  and  $T_4$  ( $4.1 \pm 0.08$ ,  $3.90 \pm 0.04$  g/dl), respectively, without significant differences ( $P > 0.05$ ) between  $T_3$  and  $T_4$ . In the other hand, treatment No. 2 reflected the highest level of serum albumin ( $1.77 \pm 0.04$  g/ dl) followed by  $T_4$ , control and  $T_1$ , respectively, while  $T_3$  recorded the lowest level with ( $1.62 \pm 0.06$  g/ dl) which were insignificant differences ( $P > 0.05$ ) between treatments in serum albumin.

The control recorded the highest level of glucose with ( $144 \pm 3.05$  mg/ dl) followed by  $T_2$ ,  $T_1$  and  $T_4$  ( $102 \pm 2.08$ ,  $93 \pm 1$ ,  $93 \pm 1.15$  mg/dl), respectively, while  $T_3$  reflected the lowest level of serum glucose ( $84 \pm 1$  mg/dl). There were no significant differences ( $P > 0.05$ ) in cholesterol level between all experimental treatments except treatment No. 3 which was recorded the highest cholesterol level with significant ( $P \leq 0.05$ ) differences compare other treatments with ( $325 \pm 1.15$  mg/ dl).

Liver enzymes are substances produced by the liver that can be measured with a blood test. Aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) are two of the enzymes central to test the health of liver function. In this study, the lowest level of AST was observed in  $T_3$  ( $13.8 \pm 1.53$  U/L), while  $T_1$  and  $T_4$  reflected the highest level of AST without significant differences between them ( $88.23 \pm 0.98$ ,  $86.1 \pm 2.35$  U/L). In the other hand, treatment No. 3 reflected the highest level of ALT followed by  $T_2$ ,  $T_4$  and  $T_1$  ( $108 \pm 1.52$ ,  $66.4 \pm 0.88$ ,  $49.6 \pm 1.36$  U/L), respectively, while the lowest level of ALT was observed in control ( $40.1 \pm 1.62$  U/L).

Serum creatinine showed the highest level in  $T_1$  ( $0.40 \pm 0.07$  mg/ dl) followed by control,  $T_3$  and  $T_4$ , while the lowest level of serum creatinine was presented in  $T_2$  ( $0.34 \pm 0.01$  mg/dl) without significant differences between treatments. The results from table (1) showed that the highest level of serum urea was observed in  $T_2$  ( $4.8 \pm 0.29$  mg/dl) followed by control,  $T_1$  and  $T_3$  ( $4.3 \pm 0.21$ ,  $3.7 \pm 0.10$ ,  $3.1 \pm 0.24$  mg/dl), respectively, while  $T_4$  reflected the lowest level of serum urea ( $2.5 \pm 0.15$  mg/dl). The results showed no significant differences between treatments in level of serum cortisol, but the highest level was recorded in  $T_3$ , while the lowest level was observed in  $T_1$ .



**Table 1.** Effect of different doses of HCG on blood biochemical parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*) female

	Control	Treatments			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Serum total protein, g/ dl	4.2± 0.15 <sup>ab</sup>	4.5± 0.11 <sup>a</sup>	4.13± 0.03 <sup>ab</sup>	4.1± 0.08 <sup>b</sup>	3.90± 0.04 <sup>b</sup>
Albumin, g/ dl	1.71± 0.11	1.65± 0.11	1.77± 0.04	1.62± 0.06	1.75± 0.04
Glucose, mg/ dl	144± 3.05 <sup>a</sup>	93± 1 <sup>c</sup>	102± 2.08 <sup>b</sup>	84±1 <sup>d</sup>	93± 1.15 <sup>c</sup>
Cholesterol, mg/ dl	223± 3 <sup>b</sup>	226± 36.04 <sup>b</sup>	224± 2.64 <sup>b</sup>	325± 1.15 <sup>a</sup>	241± 1.73 <sup>b</sup>
AST, U/L	75.2± 2.37 <sup>b</sup>	88.23± 0.98 <sup>a</sup>	54.1± 2.09 <sup>c</sup>	13.8± 1.53 <sup>d</sup>	86.1± 2.35 <sup>a</sup>
ALT, U/L	40.1± 1.62 <sup>e</sup>	49.6± 1.36 <sup>d</sup>	108± 1.52 <sup>b</sup>	131± 1.53 <sup>a</sup>	66.4± 0.88 <sup>c</sup>
Creatinine, mg/ dl	0.39± 0.015	0.40± 0.07	0.34± 0.01	0.39± 0.02	0.37± 0.03
Urea, mg/ dl	4.3± 0.21 <sup>ab</sup>	3.7± 0.10 <sup>bc</sup>	4.8± 0.29 <sup>a</sup>	3.1± 0.24 <sup>cd</sup>	2.5± 0.15 <sup>d</sup>
Cortisol, ng/ dl	13± 0.45	12.5± 0.56	13.7± 0.98	14.6± 0.49	14.1± 0.26

- (a, b, c) Average in the same row having different superscripts are differ significantly ( $P \leq 0.05$ ).

Control: without hormonal injection, T<sub>1</sub>: female brood stock treat with 500 IU HCG/kg body weight, T<sub>2</sub>: female treat with 1500 IU HCG/kg body weight, T<sub>3</sub>: female treat with 3000 IU HCG/kg body weight, T<sub>4</sub>: female treat with 6000 IU HCG/kg body weight.

#### Blood biochemical parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*) male.

The results of blood biochemical parameters of male African catfish *C. gariepinus* that recorded 12 hrs after hormonal injection by different doses from HCG hormone were summered in Table 2. The results showed significantly effects ( $P \leq 0.05$ ) on blood biochemical parameters for male (serum total protein, albumin, glucose, AST, ALT, creatinine, urea and cortisol), while cholesterol showed insignificant differences ( $P > 0.05$ ) between treatments.

The results in Table 2 showed that serum total protein was the highest in each of T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> and T<sub>4</sub> (4.3±0.10, 4.2±0.10, 3.98±0.14 g/dl), respectively, without significantly differences ( $P > 0.05$ ) among these treatments which were significantly ( $P \leq 0.05$ ) higher than the control and T<sub>3</sub> (2.7±0.12, 3.4±0.05 g/ dl), respectively. Data of serum albumin showed that the highest level was recorded in T<sub>1</sub> and T<sub>4</sub> (1.81±0.07, 1.8±0.02 g/dl), respectively, followed by T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> while the lowest level of serum albumin was recorded in control (1.53±0.03 g/dl).

Serum glucose was the highest in T<sub>3</sub> (128±1.55 mg/ dl) followed by T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> and T<sub>1</sub> (113±1.52, 107±1.0, 102±1.0 mg/dl), respectively, while the serum glucose was the lowest in the control (82±2.08 mg/dl). The results showed that no significant differences between treatments in serum cholesterol but the highest level was showed in the control (368.67±105.17 mg/ dl), while the lowest level was observed in T<sub>1</sub> (227±1.155 mg/dl).

AST level was the highest in T<sub>2</sub> (106±1.73 U/L) followed by T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> (86.3±1.82, 82.2±1.05 U/L), respectively, while the lowest was observed in each of the control and T<sub>1</sub> (81.1±1.01, 78.5±0.82 U/L), respectively. ALT was the highest in T<sub>1</sub> (75.5±1.50 U/L) followed by T<sub>4</sub> (58.3±1.30 U/ L), while the lowest level of serum ALT was observed in each of T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> and the control (40.4±0.83, 35.8±3.10, 34.6±1.83 U/L), respectively, without significant differences between these treatments.

The results in Table 2 showed that the highest level of serum creatinine was showed in T<sub>2</sub> (0.51±0.01 mg/dl) followed by T<sub>3</sub>, T<sub>1</sub> and T<sub>4</sub> (0.48±0.03, 0.47±0.02, 0.43±0.02 mg/dl), respectively, while the serum creatinine was the lowest in the control (0.41±0.02 mg/dl). The highest level of serum urea was recorded in T<sub>3</sub> (6.4±0.10 mg/dl) followed by T<sub>2</sub>, control and T<sub>1</sub> (5.1±0.36, 4.2±0.35, 3.7±0.15 mg/dl), respectively, while the lowest level was showed in T<sub>4</sub> (0.53±0.01 mg/dl). Serum cortisol was the highest in T<sub>3</sub> (14.6±0.47 ng/ dl), while the lowest level was observed in the control (12.3±0.41 ng/dl).

**Table 2.** Effect of different doses of HCG on blood biochemical parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*) male

	Control	Treatments			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Serum total protein, g/dl	2.7±0.12 <sup>c</sup>	4.2±0.10 <sup>a</sup>	4.3±0.10 <sup>a</sup>	3.4±0.05 <sup>b</sup>	3.98±0.14 <sup>a</sup>
Albumin, g/dl	1.53±0.03 <sup>c</sup>	1.81±0.07 <sup>a</sup>	1.74±0.06 <sup>ab</sup>	1.58±0.02 <sup>bc</sup>	1.8±0.02 <sup>a</sup>
Glucose, mg/dl	82±2.08 <sup>e</sup>	102±1.00 <sup>d</sup>	113±1.52 <sup>b</sup>	128±1.55 <sup>a</sup>	107±1.00 <sup>c</sup>
Cholesterol, mg/dl	368.67±105.17	227±1.155	248±2.51	238±2.64	257.67±34.86
AST, U/L	81.1±1.01 <sup>c</sup>	78.5±0.82 <sup>c</sup>	106±1.73 <sup>a</sup>	86.3±1.82 <sup>b</sup>	82.2±1.05 <sup>bc</sup>
ALT, U/L	34.6±1.83 <sup>c</sup>	75.5±1.50 <sup>a</sup>	40.4±0.83 <sup>c</sup>	35.8±3.10 <sup>c</sup>	58.3±1.30 <sup>b</sup>
Creatinine, mg/dl	0.41±0.02 <sup>b</sup>	0.47±0.02 <sup>ab</sup>	0.51±0.01 <sup>a</sup>	0.48±0.03 <sup>ab</sup>	0.43±0.02 <sup>ab</sup>
Urea, mg/dl	4.2±0.35 <sup>c</sup>	3.7±0.15 <sup>c</sup>	5.1±0.36 <sup>b</sup>	6.4±0.10 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>d</sup>
Cortisol, ng/dl	12.3±0.41 <sup>d</sup>	14±0.36 <sup>ab</sup>	13.3±0.20 <sup>bc</sup>	14.6±0.47 <sup>a</sup>	13.2±0.26 <sup>bc</sup>

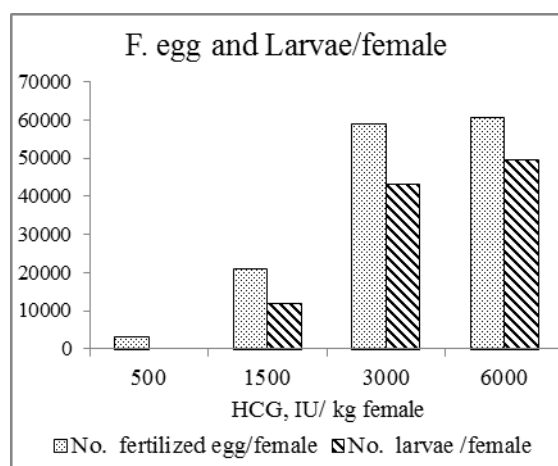
- (a, b, c) Average in the same row having different superscripts are differ significantly (P≤0.05).

Control; without hormonal injection, T<sub>1</sub>: male treat with 250 IU HCG/ kg body weight, T<sub>2</sub>: male treat with 750 IU HCG/ kg body weight, T<sub>3</sub>: male treat with 1500 IU HCG/ kg body weight, T<sub>4</sub>: male treat with 3000 IU HCG/ kg body weight).

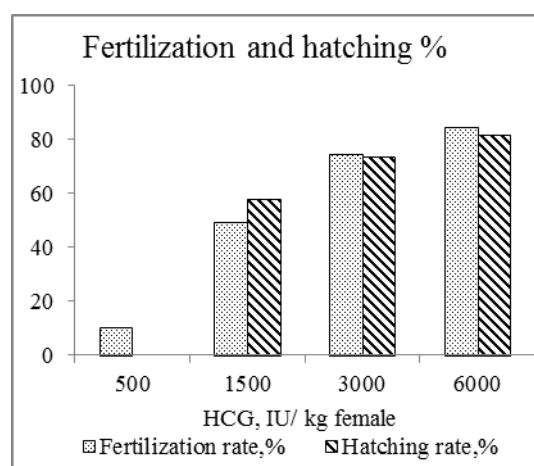
### Reproductive performance

Under the conditions tested for biochemical parameters in this study, the highest number of fertilized eggs/ female was observed with fish group injected by 6000 IU HCG/kg female (60848 fertilized eggs) and the lowest number of fertilized eggs/ female was presented in 500 IU HCG/ kg female (3372 fertilized eggs). The highest number of larvae was observed with 6000 IU HCG/ kg female (49657 larvae) followed by those 3000 IU HCG/ kg female (43177 larvae), 1500 IU HCG/ kg female (12099 larvae), while the incubation egg in 500 IU HCG/kg female don't showed any hatching larvae are presented in Figure 1.

From the result in Figure 2 the highest fertilization rate was observed with 6000 IU HCG/kg female (84.45 %) and the lowest fertilization rate was presented in 500 IU HCG/kg female (10.15 %). The highest hatching rate was observed with 6000 IU HCG/kg female (81.45 %) followed by those 3000 IU HCG/kg female (73.65 %), 1500 IU HCG/kg female (57.9 %), then 500 IU HCG/kg female (0 %).



**Fig. 1.** Number of fertilized eggs and larvae/ female



**Fig 2.** Fertilization and hatching rate

#### 4. Discussion

Blood biochemical analyses give important information related the health of fish in hatcheries in which, strongly correlation between metabolism and reproductive strategies of fish. From this point, it is important prepare the broodstock nutritionally before starting the spawning season. Fish could use carbohydrates for metabolic requires, however lipids are the most important source of energy for the different stages of maturation, and eventually, in the maturation phase, proteins are active participants (Suljevic et al., 2017).

Serum total protein that recorded in female African catfish decreased in this study with increasing in hormonal dose of HCG than that in the control, this similarly with Shokr (2020) who reported decrease in plasma proteins under effect of GnRH injection in male and female of *C. gariepinus* than that in the control group. This decrease in serum total protein may be attributed to the effect of HCG injections on female African catfish to increase growing and development gonads.

In the present study, levels of serum glucose in female groups showed significantly effected and the lower levels were observed with fish injected at 6000 IU HCG/ kg female and 3000 IU HCG/kg female with (93 and 84 mg/dl) respectively, this decrease as compared to control, may be due to the collection samples time. Cahyono et al. (2019) reported that under hormonal stimulation increased glucose level is indicated release of glucose into circulation where, the fish need to elevated energy requirements for oocyte maturation in gonad fish. However, treatments of male African catfish that injected with HCG hormone were recorded higher levels of serum glucose than those obtained in the control group. These results are similar to that recorded in grass carp by Mousavi and Yousefian (2012) and African catfish by Shokr (2020) who reported that there were relatively increased in levels of glucose under hormonal injection as compared to the control. Furthermore, the levels of serum glucose in male groups were higher than those recorded in female groups in this study. These results are in agreement with Mousavi and Yousefian (2012) and Shokr (2020).

The levels of blood glucose have long been used in fish as indicators of stress as recorded by Wedemeyer and Mcleay (1981) and Gross and Wood (1988) who recorded that under status of stress, hyperglycemia may supply additional energy during times need to high metabolic (like "fight or flight" response).

Cholesterol is a main component of formulation steroid hormones, such as progesterone, estrogen and testosterone, which work as the major components of the basic constitutive of cell membranes and energy reserves for reproductive activity (Cahyono et al., 2019). In the present study, there were insignificantly differences in cholesterol levels among female treatments expect  $T_3$ . While, cholesterol levels were showed relatively decreased in male groups treated with HCG hormone than that in the control group.

Cholesterol acts as a precursor to synthesis of steroid hormones in ovarian follicles. Sex steroid hormones play a vital role in vitellogenesis and maturation. So, increase growing the size of the eggs caused reduced in level of cholesterol at vitellogenesis, but cholesterol level increased

again during the maturation process, this fluctuation occur because of use cholesterol in steroidogenesis (Reading, Sullivan, 2017).

In this study, the levels of serum alanine aminotransferase (ALT) in fish that treat with HCG hormone significantly increased than that the control group. In addition, there was significantly change in the levels of Aspartate aminotransferase (AST) in fish injected with HCG hormone as compared to the control group. These results similar to Shokr (2020) who reported that injection of GnRH alone at 4, 8 and 12 µg/kg was effective to induce ovulation in (*C. gariepinus*) and observed that enzymes liver function (AST and ALT) had gradually increased with increase in dose of GnRH injection also, as compared to the control group.

In teleost fish, cortisol is a major hormone that regarding with stress and its level increasing in response to stress (Billard, Gillet, 1981; Sumpter et al., 1986). In the field of endocrinology, working with fish and taking sample of blood to determine the biochemical composition is very important because any handling or even using anesthesia induce stress in fish and affect hormonal level in blood. In The present study, serum cortisol levels were increased in females and males (*Clarias gariepinus*) 12 h after hormonal injection with HCG at 500, 1500, 3000 and 6000 IU/kg female; 250, 750, 1500, and 3000 IU/kg male) as compared to the control group. These results agree with Mousavi and Yousefian (2012) who reported that both male and female grass carp injected with HCG recorded significantly increased in the serum cortisol levels as compared to the control group during the induction period and the high level in female was recorded at 10 h with 13.2 ng/ml while, in male the high level was recorded at 8 h with 12.6 ng/ml. Furthermore, the authors reported that the cortisol levels recorded in females were higher than those observed in males. Tanck et al. (2001) also reported that the level of cortisol increased during the spawning time and stated that in fish the primary stress hormones is cortisol.

Shokr (2020) reported that disturbance in plasma total protein, (AST, ALT activities), glucose level and (uric acid and creatinine) concentrations as a result of stress resulting from hormonal stimulation by GnRH hormone on female and male *Claries garepinus* reflect the disturbance in whole metabolic function. This similar to the present study, who observed that hormonal injection by HCG hormone in male and female African catfish led to disturbance in all biochemical parameters such as serum total protein, glucose level, (AST and ALT activates), cholesterol, and (creatinine and urea) concentrations. Under this conditions (the disturbance in biochemical parameters) tested in this study, the highest numbers of fertilized eggs/female and fertilization rate, number of larvae/female and hatching rate were observed with 6000 IU/kg female. While the incubation egg with 500 IU/ kg female don't showed any hatching larvae. It was observed, HCG hormone has successfully and accelerate induced spawning in African catfish (*Clarias gariepinus*) and increased in reproductive performance with the increase in HCG dosage and as compared to group not injected.

Biochemical parameters are affected with hormone manipulation that used to stimulate spawning in numerous fish species where, Shokr (2015) reported that administration of follicular stimulating hormone (FSH) and luetinizing hormone (LH) (10, 20 and 40 µg/ kg body weight) in *Oreochromis niloticus* increase blood constituents, plasma total protein, glucose level, creatinine and uric acid level and AST, ALT activities, and increasing their white blood cells. Okoye et al. (2019) reported that induction of spawning in *Clarias gariepinus* by using salmon gonadotropin-releasing hormone analogue (GnRHa) and ovaprim led to significantly higher serum levels of cholesterol, testosterone, as well as significantly higher ALT and AST activities at different time-points after injection as compared to the control group.

Yeganeh (2012) illustrated that cholesterol, protein and 17β-estradiol increased significantly during the period from autumn to spring in common carp fish and indicated that sexual maturation can affect biochemical parameters of blood serum. Chatzifotis et al. (2004) reported maximum levels of serum protein, lipid, triglyceride, and cholesterol during the spawning season in comparison with vitellogenesis and the pre-spawning stage of *Dentex dentex* maturation.

#### 4. Conclusion

From this results the hormonal injection by HCG hormone in male and female African catfish led to disturbance in all biochemical parameters such as serum total protein, glucose level, liver enzymes (AST and ALT activates), cholesterol, and (creatinine and urea) and cortisol



concentrations. Serum total protein that recorded in female African catfish decreased with increasing hormonal dose of HCG than that in the control. Levels of serum glucose in female groups showed significantly effected and the lower levels were observed with fish injected by 3000 and 6000 IU/kg female, this decrease as compared to control. African catfish male that injected with HCG hormone were recorded higher levels of serum glucose than those obtained in the control group. The levels of serum glucose in male groups were higher than those recorded in female groups. Cholesterol levels were showed relatively decreased in male groups treated with HCG hormone than that in the control group. The levels of serum ALT in fish that treat with HCG hormone significantly increased than that the control group. In addition, there was significantly change in the levels of AST in fish injected with HCG hormone as compared to the control group. Serum cortisol levels were increased in females and males after hormonal injection with HCG as compared to the control group. Under this conditions (the disturbance in biochemical parameters) tested in this study, the highest numbers of fertilized eggs/female and fertilization rate, number of larvae/female and hatching rate were observed with 6000 IU/kg female. While the incubation egg with 500 IU/kg female don't showed any hatching larvae. It was observed, HCG hormone has successfully and accelerate induced spawning in African catfish (*Clarias gariepinus*) and increased in reproductive performance with the increase in HCG dosage.

## References

- Al-Dohail, 2005 – Al-Dohail, M.A.S. (2005). The effect of mixed feeding schedules on growth performance and diurnal digestives protease activities of African Catfish *Clarias gariepinus*. M.Sc. Thesis, University Sains Malaysia, Malaysia.
- Billard, Gillet, 1981 – Billard, R., Gillet, C. (1981). Stress, environment and reproduction in teleost fish. In: Pickering AD (Eds.), Stress Fish. Acad. Press, New York. Pp. 185-208.
- Cahyono et al., 2019 – Cahyono, T.D., Jr, M.Z., Carman, O. (2019). Stimulation of gonad maturation in mullet fish *Mugil dussumieri* using MT, E2, hCG, and Ovaprim hormone. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 18(1): 9-22.
- Chatzifotis et al., 2004 – Chatzifotis, S., Muje, P., Pavlidis, M., Agren, J., Paalavuo, M., Molsa, H. (2004). Evolution of tissue composition and serum metabolites during gonadal development in the common dentex (*Dentex dentex*). *Aquaculture*. 236: 557-573.
- El-Sayed, 1999 – El-Sayed, E.A. (1999). Some studies on artificial propagation of tilapia. Ph.D. Thesis, Faculty of Vet. Med., Zagazig. Univ. Zagazig Egypt.
- FAO, 2012 – FAO (2012). Fishstat Plus, Vers.2.32. Rome, FAO. [Electronic resource]. URL: [www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en](http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en)
- GAFRD, 2017 – GAFRD (2017). General authority for fish resources development. In: Fish Statistics Year Book. Cairo, Egypt: Ministry of Agriculture and Land Reclamation.
- Gross, Wood, 1988 – Gross, G.G., Wood, C.M. (1988). The effect of acid and acid/ aluminum exposure on circulating plasma cortisol levels and other blob parameters in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish Boil.* 32: 63-74.
- Jerez et al., 2006 – Jerez, S., Rodríguez, C., Cejas, A., Balonos, A., Lorenzo, A. (2006). Lipid dynamics and plasma level changes of 17 $\beta$ -estradiol and testosterone during the spawning season of gilthead seabream (*Sparus aurata*) females of different ages. *Comp. Biochem. Physiol.* 143(B): 180-189.
- Mehrim et al., 2014 – Mehrim, A.I., Abdelhamid, A.M., Radwan, I.A., Abdelhamid, A.F. (2014). Comparative study for different sources of reproductive stimulating materials and their effects on the reproductive performance of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9 (7): 414-427.
- Mousavi, Yousefian, 2012 – Mousavi, S.E., Yousefian, M. (2012). Effects of exogenous hormones on plasma cortisol, sex steroid hormone and glucose levels in male and female grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*, during the spawning induction. *African Journal of Biotechnology*. 11(36): 8920-8927.
- Okoye et al., 2019 – Okoye, Ch.N., Dan-Jumbo, S.O.; Emejue, C.O.; Udoumoh, A.F.; Agina, O.A.; Uju, Ch.N.; Ochiogu, I.Sh.; Onuorah, I.J.; Obidike, I.R. and Ihedioha, J.I. (2019). Evaluation of induced spawning on oocyte characteristics and serum biochemistry of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Comparative Clinical Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s00580-019-03038-2>.

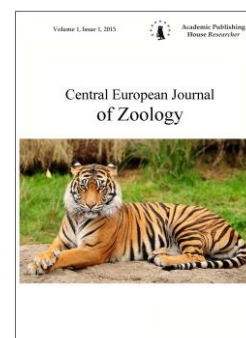
- Patriche et al., 2009 – Patriche, T., Patriche, N., Tenciu, M. (2009). Cyprinids total blood proteins determination. *Anim. Sci. Biotechnol.* 42: 95-101.
- Reading, Sullivan, 2017 – Reading, B.C., Sullivan, V.C. (2017). Vitellogenesis in fishes. North Carolina (US): Elsevier Inc. hlm 1-12.
- Saleh, 2007 – Saleh, M.A. (2007). Freshwater fish seed resources in Egypt, In: M.G. Bondad-Reantaso (ed.). Assessment of Freshwater Fish Seed Resources for Sustainable Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No.501. Rome, FAO, 241-255.
- Shokr, 2015 – Shokr, E.A.M. (2015). Effect of follicular stimulating hormone and leutinizing hormone on reproduction, physiological and biochemical changes of *Oreochromis niloticus*. Egypt. *Acad. J. Biolog. Sci. (C. Physiology and Molecular Biology)*. 7(1): 61-67.
- Shokr, 2020 – Shokr, E.A.M. (2020). Effect of gonadotropin releasing hormone injection on physiological changes and reproductive hormones in *Clarias gariepinus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*. 24(1): 119-129.
- SPSS, 2015 – SPSS (2015). Statistical Package for Social Science (for Windows). Release 23 Copyright (C), SPSS Inc., Chicago, USA.
- Suljevic et al., 2017 – Suljevic, D., Alijagic, A., Islamagic, E. (2017). Temporal influence of spawning on serum biochemical parameters in Brown trout *Salmo trutta* (Teleostei: Salmonidae). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 23 (3): 485-490.
- Sumpter et al., 1986 – Sumpter, J.P., Dye, H.M., Benfey, T.J. (1986). The effect of stress on blood ACTH, a-MSH and cortisol levels in salmonid fishes. *Gen. Comp. Endocrinol.* 62: 377-385.
- Sutriana, 2007 – Sutriana, A. (2007). The nutritional value of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) based diet for African Catfish *Clarias gariepinus*. M.Sc. Thesis, Universiti Sains Malaysia, Malaysia.
- Tanck et al., 2001 – Tanck, M.W.T., Vermeulen, K.J., Bovenhuis, H., Komen, H. (2001). Heredity of stress-related cortisol response on androgenetic common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*. 199: 283-294.
- Teugels, 1986 – Teugels, G.G. (1986). Taxonomy, Phylogeny, biogeography of catfishes (Ontario physi, Siluroidei): An Overview: *Aquat. Living Resour.* 9: 34.
- Wedemeyer, Mcleay, 1981 – Wedemeyer, G.A., Mcleay, D.J. (1981). Methods for determination the tolerance of fish to environmental stressors. In stress and fish, Academic Press, 247-275.
- Yeganeh, 2012 – Yeganeh, S. (2012). Seasonal changes of blood serum biochemistry in relation to sexual maturation of female common carp (*Cyprinus carpio*). *Comp. Clinic. Pathol.* 21: 1059-1063.



Published in the Slovak Republic  
Central European Journal of Zoology  
Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019, 5(1): 55-59

DOI: 10.13187/cejz.2019.1.55

[www.ejournal40.com](http://www.ejournal40.com)



## Letter to the Editor

### Russian Zoological Museum: the Replenishment of Mammals' Funds in 1895–1896

Valentina I. Brikonova <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup>Independent researcher, Ukraine

#### Abstract

The article considers the features of replenishment of the mammals' funds in the Russian zoological museum at the end of the XX century. The attention is paid to the geography of funds' replenishment, as well as to the personalities of benefactors.

There were used as materials the reports of the Russian zoological museum for 1895 and 1896, published in the Yearbook of the zoological museum of the imperial academy of sciences, as well as specialized literature on the subject of research.

In conclusion, the author notes that in 1895–1896, the Russian imperial zoological museum had an active process of replenishment of funds. It is important to say that the replenishment took place at the expense of almost all continents, except South America. The members of the imperial family played an important role in replenishing of the rare funds, and they donated to these needs, including their own funds.

**Keywords:** Russian zoological museum, department of mammals, replenishment of funds, Russian empire, 1895–1896.

#### 1. Введение

Русский зоологический музей был создан в 1822 году путем отделения соответствующих фондов от Кунсткамеры в городе Санкт-Петербург (Брандт, 1865: 1-35). Сегодня музей располагает тремя выставочными залами: зал насекомых, зал позвоночных животных и зал млекопитающих. В данной работе мы хотели бы обратиться к процессу пополнения фондов музея по отделению млекопитающих. Выявить направления откуда доставлялись экспонаты, определить жертвователей. В качестве рассматриваемого периода мы возьмем только два года 1895 и 1896.

#### 2. Материалы и методы

В качестве материалов были привлечены отчеты русского зоологического музея за 1895 и 1896 гг., опубликованные в Ежегоднике зоологического музея императорской академии наук (Отчет, 1896: 1-55; Отчет, 1897: 1-76), а также специализированная литература по теме исследования (Брандт, 1865; Наумов, 1980; Slepikova, 2000).

\* Corresponding author

E-mail addresses: [V.Brikonova@gmail.com](mailto:V.Brikonova@gmail.com) (В.И. Бриконова)

### 3. Результаты

В 1895–1896 гг. заведующим отделения млекопитающих в Русском зоологическом музее являлся старший зоолог Е.А. Бихнер. В 1896 г. он был избран членом-корреспондентом Лондонского зоологического общества (Отчет, 1897: 3).

В 1895 г. работы в отделении млекопитающих проводились с учетом текущей необходимости, а также лабораторных занятий. В это время были приведены в актуальное состояние коллекции семейств *Felidae* и *Viverridae*.

Прирост коллекции музея по данному отделению в 1895 г. был значителен (Таблица 1).

**Таблица 1.** Прирост коллекции музея по отделениям млекопитающих и остеологическому за 1895 г. (Отчет, 1896: 6)

Названия	В спирту	Шкуры	Черепы	Скелеты	Рога
<i>Marsupialia</i>	2	1	-	1	-
<i>Sirenia</i>	-	-	-	1	-
<i>Cetacea</i>	-	1	1	3	-
<i>Undulota</i> <i>Artiodactyla</i>	5	9	39	9	10
<i>Undulota</i> <i>Perissodactyla</i>	-	1	-	1	-
<i>Undulota</i> <i>Hyracoidea</i>	-	2	2	-	-
<i>Rodentia</i>	65	27	4	4	-
<i>Carnivora</i>	3	25	88	7	-
<i>Insectivora</i>	19	1	3	-	-
<i>Chiroptera</i>	77	-	-	-	-
<i>Primates</i>	-	7	8	2	-
Итого	171	74	145	28	10

Помимо этого в остеологическое отделение поступило 429 номеров костей послетретичных млекопитающих. Из числа млекопитающих. Поступивших в музей в 1895 г., особого внимания заслуживали следующие предметы по отрядам:

*Marsupialia*. Спиртовой экземпляр *Notoryctes typhlops*; этот вид, оказался представителем нового семейства сумчатых, открытым профессором Стирлингом в степях Центральной Австралии в 1891 г.

*Sirenia*. Практически полный скелет вымершей морской коровы (*Rytina gigas s. stelleri*) с острова Беринга.

*Cetacea*. Коллекция китообразных музея была значительно увеличена, благодаря приобретению скелетов *Hyperoodon rostratum* и *Lagenorhynchus eschrichti* из Атлантического океана, и свежееубитой около устьев р. Наровы морской свиньи (*Phocaena communis*). Кроме того, музей получил в дар от Н.А. Гребницкого череп *Orca* с Командорских островов.

*Ungulata*. Шкуры и скелеты самца и самки кавказского зубра, не имевшиеся до сих пор в музее. Этот весьма важный пробел в коллекции был восполнен благодаря великому князю Сергею Михайловичу. Для пополнения коллекции антилоп были приобретены шкуры *Oryx Beisa* и *Gazella pelzelni* и череп оригинального *Lithocranius walleri* из Сомали (Отчет, 1896: 7).

Коллекция семейства *Cervidae* обогатилась парой рогов благородного оленя из Крыма, добытых на охоте Великим князем Сергеем Михайловичем, а также парой исключительных по своим размерам лосиных рогов, найденных на берегах р. Оби. Эти последние рога получены от Великого князя Михаила Александровича.

Коллекция музея пополнилась также совершенно исключительным чучелом и скелетом белого носорога, *Rhinoceros simus* из Машуналанда в южной Африке. Это вымирающий носорог, который по исследованиям конца XIX века уцелел лишь в самом незначительном числе в наиболее отдаленных и недоступных частях области его распространения, был добыт в числе трех экземпляров, благодаря только тому



обстоятельству, что Британским музеем и музеем В. Ротшильда в Тринге была назначена очень высокая премия за доставку экземпляров этого носорога. Один из названных трех экземпляров был предложен Зоологическому музею и президент Академии наук пожертвовал его музею.

**Rodentia.** В 1895 г. музею удалось приобрести небольшую, но интересную коллекцию млекопитающих. Собранную в Бирме известным путешественником Л. Феа; большую часть этой коллекции составляли грызуны и между ними целый ряд видов, не имевшихся до сих пор в музее. Получены были на обмен от Г. Миллера также 24 экземпляра представителей родов *Sitomys* и *Zapus* из Северной Америки. Для пополнения основной коллекции приобретались чрезвычайно редкие в музее грызуны: *Haplodon rufus* (из Северной Америки) и *Ctenodactylus massoni* (из Северной Африки) (Отчет, 1896: 8).

**Carnivora.** В музей были доставлены и две шкуры барса (*Felis pardus*), самца и самки, из Кубанской области; эти экземпляры были принесены в дар музею от великого князя Сергея Михайловича. Два полных скелета *Otaria ursina*, доставленные Н.А. Гребенецким.

**Primates.** Взрослый самец оранга (*Pithecus satyrus*), полученный путем обмена от Штутгартского музея (Отчет, 1896: 8).

Из числа остатков послетретичных млекопитающих нельзя не обратить внимание на следующие предметы. В 1895 г. поступила в музей остеологическая коллекция, собранная П.С. Проскуряковым в 1894 г., при материальном содействии императорской академии наук, во время раскопок в Торгашинской пещере близ г. Красноярск. Эта коллекция, состояла из 398 номеров костей животных представляла большой научный интерес; достаточно отметить, что Проскуряковым были найдены в Торгашинской пещере кости гиены (*Hyena spelaea*), которая в Восточной Сибири до этого была неизвестна. Среди остальных ископаемых костей, поступивших в музей, выделяются следующие предметы: великолепно сохранившийся череп речного бобра (*Castor fiber*) из русла р. Атмис (Нижне-Ломовского уезда, Пензенской губернии), доставленный И.А. Лопатиным; неполный череп сайгака (*Saiga tatarica*), добытый экспедицией барона Э.Ф. Толя в системе р. Оленека, под 72 градусом северной широты, и часть лобной кости с основание рога *Cervus megaceros*, найденная в Минусинском округе П.Е. Островским (Отчет, 1896: 8-9).

В 1896 г. коллекции отделения млекопитающих использовались для научных целей академиком Д.Н. Анучиным, доктором Батуевым и Е. Гембергом (из Швеции).

Прирост млекопитающих в 1896 г. был следующим (Таблица 2)

**Таблица 2.** Прирост коллекции музея по отделениям млекопитающих и остеологическому за 1896 г. (Отчет, 1897: 5)

Названия	В спирту	Шкуры	Черепы	Скелеты	Рога
<i>Marsupialia</i>	-	1	-	-	-
<i>Cetacea</i>	-	1	1	1	-
<i>Undulota</i> <i>Artiodactyla</i>	-	98	98	14	18
<i>Undulota</i> <i>Perissodactyla</i>	-	7	6	1	-
<i>Rodentia</i>	164	249	141	4	-
<i>Carnivora</i>	2	98	75	18	-
<i>Insectivora</i>	22	6	4	-	-
<i>Chiroptera</i>	74	1	-	-	-
<i>Primates</i>	-	2	1	-	-
Итого	262	463	326	38	18

Если сравнивать Таблицу 2 с Таблицей 1, то окажется, что 1896 г. в отделение млекопитающих поступило в 3 раза больше предметов, чем в 1895 г. Это объясняется тем обстоятельством, что в 1896 г. поступили через императорское Русское географическое общество две обширные коллекции, собранные экспедициями М.М. Березовского и В.И. Роборовского и П.К. Козлова. Коллекция М.М. Березовского была собрана в самой

южной части китайской провинции Ганьсу и в Сы-чуани, своеобразная фауна которых не имеет ничего общего с фауной Центральной Азии, и содержала в себе большое количество новых для музея предметов высокой научной ценности. Достаточно упомянуть здесь, что в этой коллекции представлено большое количество открытых Арманд Давидом в окрестностях Мупина видов, среди которых первое место занимали: *Ailuropus melanoleucus*, *Budorcas taxicolor*, *Nemorhaedus edwardsi*, *N. griseus* и другие (Отчет, 1897: 5).

Богатый сбор экспедиций В.И. Роборовского и П.К. Козлова. Прекрасно дополняли значительные коллекции по млекопитающим, вывезенные из Центральной Азии экспедициями императорского Русского географического общества и хранящимися в академическом музее. В коллекции этой экспедиции выделятся по своей ценности следующие предметы: 6 шкур и два полных скелета дикого верблюда, три шкуры и скелет дикого яка, шкура с черепом *Equus przewalskii*, скелеты *Equus kiang*, *Ovus hodgsoni*, *Gazella przewalskii*, *Gazella picticauda* и так далее.

Из остальных поступлений в 1896 г. особого внимания заслуживали:

*Marsupialia*. Чучело *Notoryctes typhlops* из центральной Австралии.

*Cetacea*. Скелет и череп *Phocaena dalli* с Командорских островов и шкура *Delphinapterus leucas* с Новой Земли.

*Ungulata*. Коллекция антилоп музея значительно пополнилась благодаря приобретению превосходных шкур и черепов следующих видов: *Gazella kevelia* (самка и самец) и *Gazella loderi* (самка и самец) из Туниса. *Gazella walleri* (самец) и *Bubalis swaynei* (самец) из Камеруна и *Nemorhaedus swinhoes* (самец) с острова Формозы. Приобретены также шкура и полный скелет гну (*Connochaetes gnu*). Коллекция козорогов (*Capra*) обогатилась шкурами и черепами старого и более молодого самца *Capra hispanica* из Сиера Невады, вида, быстро уменьшающегося с каждым годом в численности. Музею также удалось приобрести экземпляр редкой в музеях зебры (*Equus grevyi*) из Сомали.

*Rodentia*. Обширная спиртовая коллекция мелких млекопитающих, собранная Ф.Д. Плеске в Гдовском уезде и представлявшая прекрасный материал для предположенных на выставке групп российских обыкновенных зверей; большую часть этой коллекции составляли грызуны, среди которых находились несколько экземпляров черной крысы (*Mus rattus*), впервые найденной в пределах Санкт-Петербургской губернии. Интересный спиртовой экземпляр *Heterocephalus glaber* из северо-восточной Африки; этот оригинальный, почти совершенно голый грызун из семейства Spalacidae представлял большую редкость. Черный экземпляр беляка из Казанской губернии. Спиртовые коллекции из Закаспийской области, Туркестана, Оренбургской губернии и из восточной Персии (Отчет, 1897: 6-7).

*Carnivora*. Экземпляр *Canis holubi* из южной Африки, послуживший типом для установления вида. *Felis lybica* и *Canis mediterraneus* из Туниса. Шкурки и череп весьма редкого *Ptoteles ladandi* из Сомали. Скелет *Trichechus rosmarus* и несколько скелетов и черепов ездовой собаки, морского бобра (*Enhydrys lutris*), нерпы (*Phoca largha*), котика и *Otaria stelleri* с Командорских островов, принесенных в дар музею Н.А. Гребеневым.

Помимо этого в 1896 г. поступило в музей 33 номера ископаемых костей и значительная коллекция остатков послетретичных млекопитающих, собранная И.Т. Савенковым в окрестностях Красноярска. Среди ископаемых костей нельзя не обратить внимание на пять костей и кусок кожи вымершего носорога (*Rhinoceros tichorhinus*), доставленные в Академию наук С. Рабиновичем из села Казачьего, Устьянского улуса; остатки от хорошо сохранившегося, еще покрытого кожей экземпляра носорога, найденного в 1895 г. инородцем 1-го Ноготского наслега Трофимом Санниковым в 60 километрах от села Казачьего на восток, по берегу реки Хараулы, впадающей в р. Томскую с левой стороны (р. Томская – правый приток Семендона). Благодаря вниманию Рабиновича, все остатки этого носорога вырыты и хранятся ныне в селе Казачьем, а академией наук было сделано распоряжение о доставлении этой коллекции в Санкт-Петербург (Отчет, 1897: 7).

#### 4. Заключение

Таким образом, в 1895–1896 гг. в русском императорском зоологическом музее происходил активный процесс пополнения фондов. Важно отметить, что пополнение происходило за счет практически всех континентов, кроме Южной Америки. Важное

значение в пополнении редких фондов играли члены императорской фамилии, которые жертвовали на эти нужды, в том числе собственные средства.

### Литература

**Брандт, 1865** – *Брандт Ф.Ф.* Зоологический и Зоотомический музей // Записки императорской академии наук. 1865. № 7(1). С. 1-35.

**Наумов, 1980** – *Наумов Д.В.* Зоологический музей АН СССР: Краткая история и описание экспозиции. Ленинград, 1980.

**Отчет, 1896** – Отчет по зоологическому музею императорской академии наук за 1895 г. // Ежегодник зоологического музея императорской академии наук. 1896. № 1. С. 1-55.

**Отчет, 1897** – Отчет по зоологическому музею императорской академии наук за 1896 г. // Ежегодник зоологического музея императорской академии наук. 1897. № 2. С. 1-76.

**Slepkova, 2000** – *Slepkova N.V.* To the history of the Zoological Museum. The history of the site. Exhibition at the beginning of the 20th century // *Trudy Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk.* 2000. V. 286. pp. 147–154.

### References

**Brandt, 1865** – *Brandt, F.F.* (1865). Zoologicheskii i Zootomicheskii muzei [Zoological and Zootomic museum]. *Zapiski imperatorskoi akademii nauk.* 7(1): 1-35. [in Russian]

**Naumov, 1980** – *Naumov, D.V.* (1980). Zoologicheskii muzei AN SSSR: Kratkaya istoriya i opisanie ekspozitsii [Zoological museum of the USSR academy of sciences: a brief history and description of the exhibition]. Leningrad. [in Russian]

**Otchet, 1896** – Otchet po zoologicheskomu muzeyu imperatorskoi akademii nauk za 1895 g. [Report on the zoological museum of the imperial academy of sciences for 1895]. *Ezhegodnik zoologicheskogo muzeya imperatorskoi akademii nauk.* 1896. № 1. Pp. 1-55. [in Russian]

**Otchet, 1897** – Otchet po zoologicheskomu muzeyu imperatorskoi akademii nauk za 1896 g. [Report on the zoological museum of the imperial academy of sciences for 1896]. *Ezhegodnik zoologicheskogo muzeya imperatorskoi akademii nauk.* 1897. № 2. Pp. 1-76. [in Russian]

**Slepkova, 2000** – *Slepkova, N.V.* (2000). To the history of the Zoological Museum. The history of the site. Exhibition at the beginning of the 20th century. *Trudy Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk.* V. 286. Pp. 147-154.

### Русский зоологический музей: пополнение фондов млекопитающих в 1895–1896 гг.

Валентина Ивановна Бриконова <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Независимый исследователь, Украина

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности пополнения фондов млекопитающих в русском зоологическом музее в конце XX века. Уделено внимание географии пополнения фондов, а также личностям благотворителей.

В качестве материалов были привлечены отчеты русского зоологического музея за 1895 и 1896 гг., опубликованные в Ежегоднике зоологического музея императорской академии наук, а также специализированная литература по теме исследования.

В заключении автор отмечает, что в 1895–1896 гг. в русском императорском зоологическом музее происходил активный процесс пополнения фондов. Важно отметить, что пополнение происходило за счет практически всех континентов, кроме Южной Америки. Важное значение в пополнении редких фондов играли члены императорской фамилии, которые жертвовали на эти нужды, в том числе собственные средства.

**Ключевые слова:** русский зоологический музей, отделение млекопитающих, пополнение фондов, Российская империя, 1895–1896 гг.

\* Корреспондирующий автор

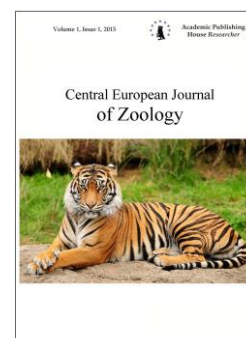
Адреса электронной почты: [V.Briconova@gmail.com](mailto:V.Briconova@gmail.com) (В.И. Бриконова)

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
Central European Journal of Zoology  
Has been issued since 2015.  
E-ISSN 2500-3739  
2019, 5(1): 60-72

DOI: 10.13187/cejz.2019.1.60

[www.ejournal40.com](http://www.ejournal40.com)

## The Entomometry: from *Sensu Stricto* towards *Sensu Lato*

Sergei K. Pankratov <sup>a</sup><sup>a</sup> Distributed Entomometric Stations Initiative, USA – Russian Federation

### Abstract

The term “entomometry”, introduced earlier in the abstract of the conference “AART Physical Education” Shaibani in 2010 in the narrow sense of the word (*sensu stricto*) can be expanded to a broader interpretation (*sensu lato*) in the case of making some assumptions about its value. Its instrumental side, in our opinion, has its origins in the works of the 19th century. Thus, Zenneck entomometer (or Zenneck) is known, described in the nineteenth century in a publication published in the “Polytechnisches Journal” (Der Entomometer, ein zu relativen und absoluten Dimensionsbestimmungen der Insecten eingerichtetes Instrument). Relative, qualitative, species-specific measurements carried out using this device, at the same time, were only a static version of the general approach. We also consider the dynamic entomometric measurements, which can be carried out using telemetry stations, costing up to \$ 50-100 per piece, manufactured within the framework of the Distributed Entomometric Stations Initiative (USA – Russia) before its closure (in particular, the author of this article). The specific subdivisions of entomometry are proposed as a classification and metrological system and a possible source of creating databases for data mining; their possible names are indicated in the keywords to this article.

**Keywords:** entomometer, entomometry, coleopterometer, trichopterometer, dipterometer, odonatometer, hemipterometer, isopterometer, lepidopterometer, orthopterometer, mellitometer/apiometer, myrmecometer, vespometer.

### Понятие «энтометрии» и первый энтометр (XXI век, Штутгарт).

Термин «энтометрия» (“entomometry”) и производное от него «энтометрический» (“entometric”) впервые употреблены в абстракте конференции “AART Physical Education” в 2010 г. (Shaibani, 2010). Данный термин, не имеющий аналогов в описательной энтомологии и близких дисциплинах, относился к исследованию стабильности динамического поведения и выживания насекомых. Автор писал: «Empirical evidence shows that houseflies and their ilk can avoid many of the standard attempts by humans to terminate their existence by planar instrument. The ability to evade such demise was in turn counteracted by a much more successful approach devised some time ago by this author. However, it had not been possible until recently to establish the exact scientific basis for his large increase in efficacy because values for key kinematic parameters were not available». В то же время, ссылаясь на работу, опубликованную в 2008 г. на страницах “Journal of Experimental Biology” (Card, Dickinson, 2008), используя её данные в сопоставлении с вычислениями выживаемости («Experimental data from contemporaneous research have now enabled computations to be performed here, and the results explain both the survival rate against old techniques and the less favorable outcome for housefly-like insects against the new strategy»), автор ограничивает применимость данного подхода исключительно лишь областью задач для студентов («The methodology involved provides an excellent tool for student learning of physics, and elements of this are presented to



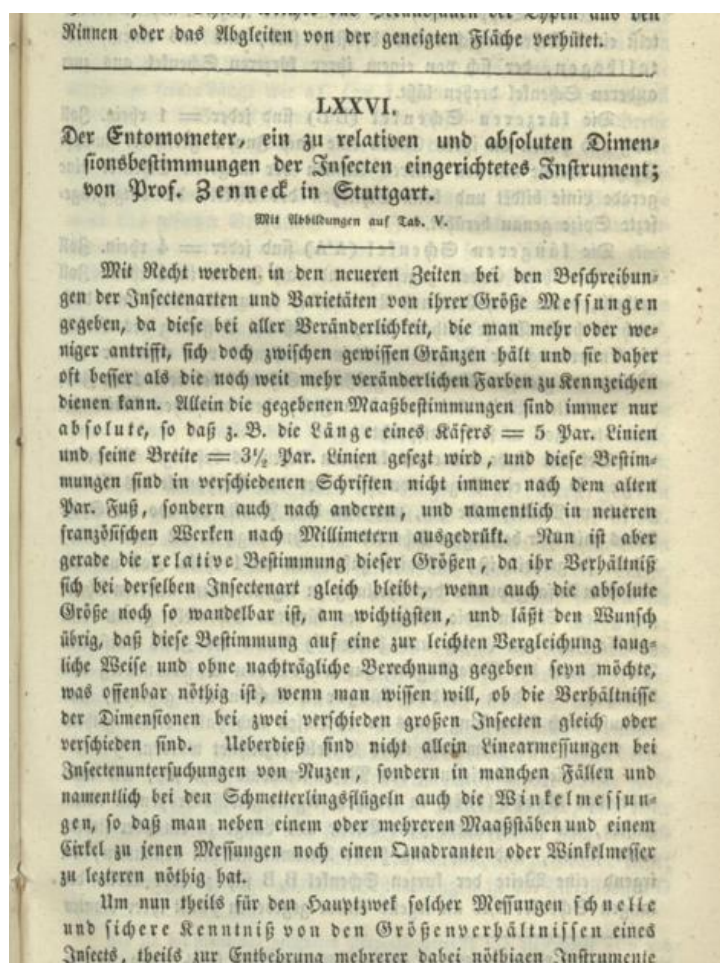
demonstrate the applicability of many concepts in a pedagogical setting that is interestingly different from those in traditional textbook»). Это обусловливается образовательным контекстом форума (см. скан с фрагмента страницы программы на рис. 1). Однако далее автор не идёт, несмотря на то, что работа в этом тренде в условиях даже образовательных, раз уж на то пошло, лабораторий и DIY-площадок ("Citizen Science") могла бы привести к существенному распространению количественных методов и динамических/кинематических подходов в любительской энтомологии. В доступных ныне практически любому желающему технических условиях, любой учащийся может обеспечить проведение наблюдений уровня Фабра, а любой владеющий инженерным калькулятором и азами физики и математики в объёме средней школы – реализацию вычислений в отраслях биомеханики на уровне Джованни Борелли. Поэтому, строго говоря, не представляет труда и дальнейшее распространение и развитие концепта энтомометрии, заданное, по факту, самой первой публикацией (Shaibani, 2010), в сноске к которой указано: «the final word in the title, and the associated adjective "entomometric," have been constructed by the author from the prefix and suffix for insect and measuring, respectively». То есть, любые формы измерений в области энтомологии, *sensu lato*, могут быть подведены под определение энтомометрии. Однако, как показывает поиск в сети и через поисковые системы издательств, этот термин практически не используется; <https://scholar.google.co.uk/> указывает на нулевое количество публикаций с терминами "entomometry" и "entomometric" в названии.

<p>student-teacher relationship.</p> <p><b>HA07: 9:42–9:54 a.m. Lessons in Physics from a Study of Hexapedal Entomometry*</b></p> <p>Saami J. Shaibani, Instruction Methods, Academics &amp; Advanced Scholarship, Lynchburg, VA 24506; shaibani@imaas.org</p> <p>Empirical evidence shows that houseflies and their ilk can avoid many of the standard attempts by humans to terminate their existence by planar instrument. The ability to evade such demise was in turn counteracted by a much more successful approach devised some time ago by this author. However, it had not been possible until recently to establish the exact scientific basis for his large increase in efficacy because values for key kinematic parameters were not available. Experimental data from contemporaneous research<sup>1</sup> have now enabled computations to be performed here, and the results explain both the survival rate against old techniques and the less favorable outcome for housefly-like insects against the new strategy. The methodology involved provides an excellent tool for student learning of physics, and elements of this are presented to demonstrate the applicability of many concepts in a pedagogical setting that is interestingly different from those in traditional textbooks.</p> <p>* The final word in the title, and the associated adjective "entomometric," have been constructed by the author from the prefix and suffix for insect and measuring, respectively.</p> <p>1. J. Exp. Biol. 211, 341–353 (2008)</p>	<p><b>Session HB: Teaching Physics Around the World – II</b></p> <p><b>Location:</b> Washington 2  <b>Sponsor:</b> Committee on International Physics Education  <b>Date:</b> Wednesday, Feb. 17  <b>Time:</b> 8:30–9:42 a.m.</p> <p><i>President: TBA</i></p> <p><b>HB01: 8:30–8:42 a.m. Space Science Initiatives for STEM Education Betterment</b></p> <p>Norma T. O. Reis, Ministerio Da Educao - MEC BL, L, ED. Sedes, Brasilia/DF, Brazil; normareis@mec.gov.br</p> <p>We explore pedagogical benefits of two pre-college enterprises in space science education: the Space Weather Action Center, from NASA, and the Brazilian Olympics of Astronomy and Astronautics — OBA. SWAC is a nationwide program that helps engage students in space sciences, and promotes STEM learning in a meaningful approach. Students work like real scientists, monitoring space weather by accessing NASA databases. In teams, they collect, record, analyze, and communicate results using educational technologies such as video and broadcasting. Basic</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Рис. 1.** Скан первой работы с предложением термина «энтомометрия» (Shaibani, 2010)

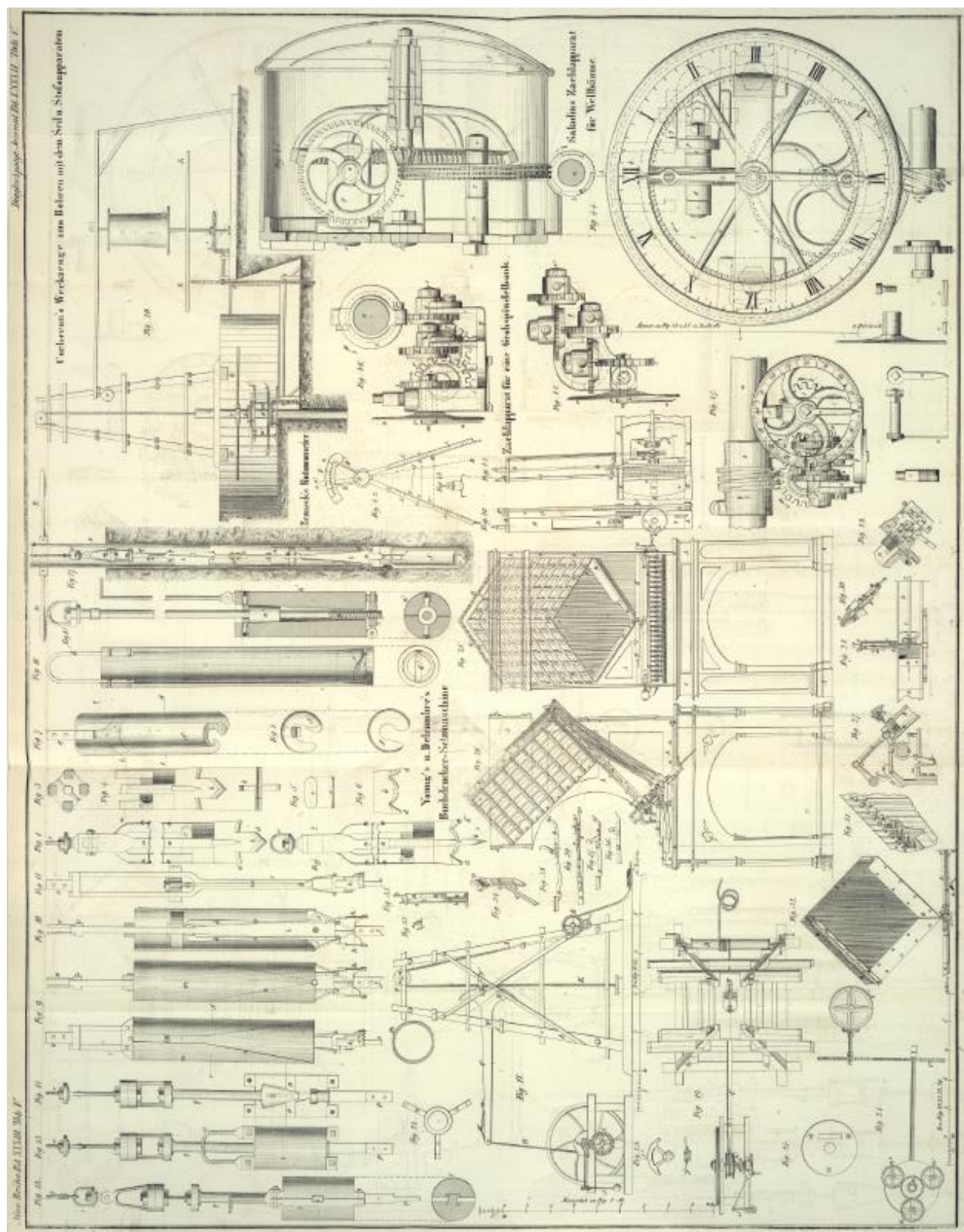
Этот факт категорически противоречит очевидному существованию приборов и систем для измерения насекомых, называемых энтомометрами («The Century Dictionary», впрочем, определяет энтомометр как «An instrument used to measure the parts of insects», а справочник <https://topmeaning.com/english/entomo-> приводит его название без определения). Впервые, по нашим данным, данный термин используется в «Polytechnisches Journal» за 1841 год – в работе «Der Entomometer, ein zu relativen und absoluten Dimensionsbestimmungen der Insecten eingerichtetes Instrument; von Prof. Zenneck in Stuttgart». Автор заметки жалуется, что хотя «в описании видов и разновидностей насекомых измерения их размеров даются правильно», «данные измерения всегда абсолютны», в то время, как, по его мнению, «теперь, однако, именно относительное определение этих величин является наиболее важным», так как «их взаимосвязь остается неизменной для одного и того же вида насекомых» – несмотря на то, что «может изменяться абсолютное число». В ряде случаев автор данного манускрипта,

в виде скриншота приведенного на [Рисунке 2](#), считает целесообразным также угловые измерения: «в некоторых случаях, особенно в случае крыльев бабочки, нужны угловые измерения, так что в дополнение к одному или нескольким измерительным стержням и кругу для данных измерений необходим квадрант или транспортир». Рисунок описываемого в работе прибора приводится на [Рисунке 3](#). Далее описывается его использование: «Использовать инструмент для относительных измерений весьма просто: один охватывает ширину насекомого кончиками двух коротких ног (с краем металлической дуги, повернутой назад), а затем перемещает его по длине (с неизменной шириной круга) между двумя длинная нога к тем соответствующим точкам их разделения, которые точно соприкасаются с ее передней и задней стороной». И далее, «чтобы эти точки были четко видны, инструмент, разумеется, освещается наиболее благоприятным светом, и те, у кого руки не должны быть в то же время очень спокойными, могут либо поставить насекомое на приподнятую точку, либо инструмент на его». Пишущий руководство даёт конкретные рекомендации на уровне описания институтского практикума: «Вставьте шарнир между двумя пробковыми стержнями, которые соединены с иглой, нижняя часть которой где-то приклеена, и закрепите». «Если при измерении длины насекомого (между большими ножками инструмента) она должна быть более чем в четыре раза больше его ширины по отношению к его ширине, то свободная ножка помещается на разделение металлической дуги, размер, видимый на ней, увеличивается вдвое, та же ножка выпрямляется до этого размера, измеряет длину насекомого между двумя большими ногами и, уменьшая вдвое размер, определенный таким путём, получите правильные отношения к ширине». Далее приводятся примеры измерений для конкретных видов насекомых (даны в таблице на [Рисунке 4](#).



**Рис. 2.** Первая страница статьи (1841) Der Entomometer, ein zu relativen und absoluten Dimensionsbestimmungen der Insecten eingerichtetes Instrument; von Prof. Zenneck in Stuttgart





**Рис. 3.** Общая схема энтомометра проф. Ценнека, Штутгарт (von Prof. Zenneck in Stuttgart)

Zum Schluß mögen als Beispiele noch folgende mit dem Entomometer angestellte Messungen sehen.

Das Verhältniß der Breite zur Länge war — bei —

$= \frac{1}{272}$	(die absolute Breite = 1,4 rhein. Lin.)	bei Amara familiaris.
$= \frac{1}{274}$	(= 1,5)	— — trivialis.
$= \frac{1}{279}$	(= 1,8)	bei Ludius holoseriocus.
$= \frac{1}{293}$	(= 1,5)	— — holos. Var.
$= \frac{1}{295}$	(= 1,75 rhein. L.)	Pöcilus cupreus.
$= \frac{1}{295}$	(= 2,25 — )	— — cupreus. Var.
$= \frac{1}{297}$	(= 1,0 — )	Pisodes pixi. ♂
$= \frac{1}{297}$	(= 1,5 — )	— — ♀
$= \frac{1}{292}$	(= 2,2 — )	Cicendela hybrida.
$= \frac{1}{296}$	(= 2,7 — )	— — sylvicola.

Anmerkung: Man sieht, daß man bei diesen Bestimmungen ganz kurz z. B. schreiben kann  $\frac{1}{2,6}$  (= 2,7), um damit

---

59) 12 Par. Linien sind = 27 Millimeter = 12,46 rhein. Linien.  
und 26 Millimeter = 12,0 rhein. Linien.

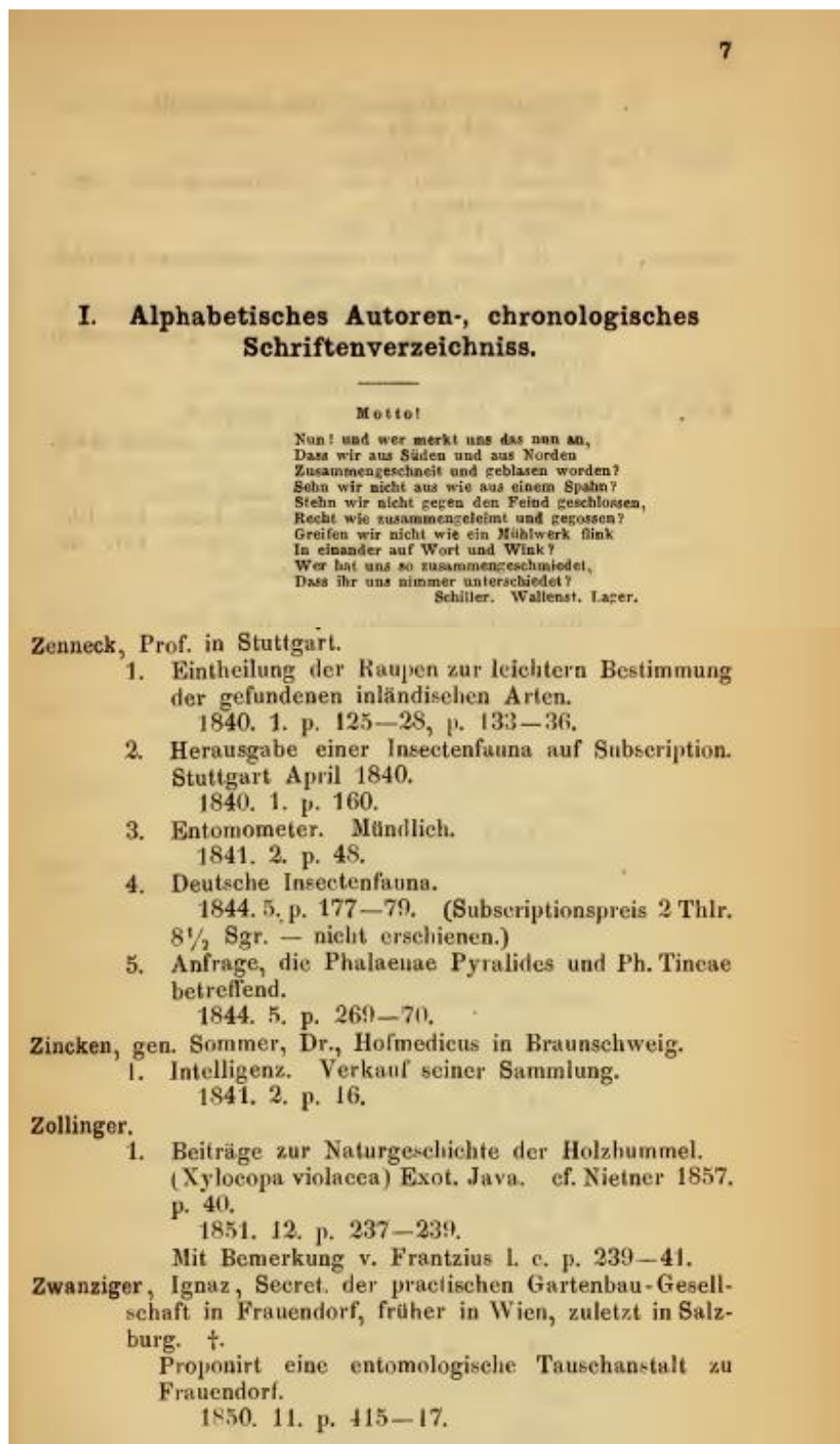
60) Die 12 rhein. Linien meines Metallbogens betragen beinahe 60 Grade (59,5°), also 1 Lin. = 5° und  $\frac{1}{2} = 2,5^\circ$ .

**Рис. 4.** Таблица с примерами использования прибора указанного автора (Prof. Zenneck) для конкретных видов насекомых

#### Дальнейшее развитие энтомометрической техники

В дальнейшем приборов такого рода было создано достаточно немного и, в основном, в силу специфики относительных и угловых измерений, они были связаны с именем Ценнике. Так, в алфавитном указателе Entomologische Zeitung (Рисунок 5) на 107 странице указывается его фамилия со ссылкой на описание созданного им энтомометра. Однако это — единственное во всей релевантной немецкой энтомологической литературе указание на эту разработку. Такое положение дел не может не беспокоить. Получается, что, несмотря на существование слова в словарях, включая экзотические (см. Рисунок 6), теория соответствующих приборов не внедрена в использование специалистами и не развита до воспроизводимого состояния. Более того, на примере, с которого начато данное сообщение, можно видеть, что под энтомометрическими терминами подразумеваются качественно разные способы измерений — динамические либо кинетические и статистические, но абсолютные, в современной форме, и статические, более того — относительные статические, но компаративно-морфологические с гониометрической (протракторной) привязкой, в ранней форме! Возможно ли сказать после этого, что методы и подходы в данной области разработаны исчерпывающим образом?





**Рис. 5.** Ссылка на работу Ценнике в алфавитном указателе Entomologische Zeitung (XIX в.)



**Рис. 6.** Примеры словарного использования данного термина

Исходя из этого, автором настоящей заметки с соавторами в первой половине 2010х гг. был инициирован комплекс мер по созданию идеологии комплексной энтомометрии. Нами были предложены следующие классификации возможных средств энтомометрии:

1. По таксономии, например,
  - Апиометры – для исследования и измерения динамики пчёл (Apoidea);
  - Блатттоптерометры – для исследования и измерения динамики тараканов;
  - Диктиоптерометры – для исследования и измерения динамики богомолы и термитов;
  - Диптерометры – для исследования и измерения динамики двукрылых (мух и др.);
  - Гименоптерометры – для исследования и измерения перепончатокрылых (ос, наездников, пилильщиков, пчёл, муравьёв);
  - Колеоптерометры – для исследования и измерения динамики жесткокрылых (жуков); синоним – церамбицидометры (от «церамбицидология»);
  - Лепидоптерометры – для исследования и измерения динамики чешуекрылых (бабочек);
  - Мирмекометры (формикометры) – для исследования и измерения динамики муравьёв;
  - Одонатометры – для исследования и измерения динамики стрекоз;
  - Ортоптерометры – для исследования и измерения динамики прямокрылых (кузнечиков, сверчков, саранчовых);
  - Трихоптерометры – для исследования и измерения динамики ручейников; и пр. для подчиненных групп.
2. По принципу действия, например,
  - оптические;
  - биоакустические;
  - электрофизические;
  - радиофизические;
 и пр.
3. По полевой применимости, например,
  - влагорезистентные;
  - водные погружные;

- для аридных условий;
- криостабильные;

и т.д.

4. По автономии использования, например,

- запоминающие автономные (с дата-логгерами/картами памяти);
- сетевые полуавтономные (передача по цифровым каналам связи);
- телеметрические полуавтономные (радиочастотные аналоговые каналы);
- неавтономные (кабельные как по передачи данных, так и по питанию);

и др. (впоследствии, по мере развития технических средств, классификация была изменена).

5. По итоговой версии использования информации, например,

- компаративно-морфометрические (карты признаков);
- компаративно-велосиметрические (векторные поля);
- статистические («популяционные фингерпринты»);

и т.д.



## Entomometric Stations (USA-RU)



Мои блоги

[ENTOMOMETRY-2016 \(Workshop and Webinar\)](#)

Обо мне

Регистрация в  
Blogger: июль 2016  
г.

**Рис. 7.** Блог энтомометрических станций от 2016 года

28.02.2019

view-source:https://entomometry.wordpress.com

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4 <meta charset="UTF-8">
5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
6 <link rel="profile" href="http://gmpg.org/xfn/11">
7
8 <title>ЭНТОМОМЕТРИЧЕСКИЙ БЛОГ &#8211; ENTOMOSCOPY =&gt; ENTOMOGRAPHY =&gt;
  ENTOMOMETRY</title>
9 <link rel='dns-prefetch' href='//s2.wp.com' />
10 <link rel='dns-prefetch' href='//s1.wp.com' />
11 <link rel='dns-prefetch' href='//s0.wp.com' />
12 <link rel='dns-prefetch' href='//fonts.googleapis.com' />
13 <link rel="alternate" type="application/rss+xml" title="ЭНТОМОМЕТРИЧЕСКИЙ БЛОГ
  &raquo; Feed" href="https://entomometry.wordpress.com/feed/" />
14 <link rel="alternate" type="application/rss+xml" title="ЭНТОМОМЕТРИЧЕСКИЙ БЛОГ
  &raquo; Comments Feed" href="https://entomometry.wordpress.com/comments/feed/"
  />
15 <script type="text/javascript">

```

Рис. 8. Последующая попытка восстановления инициативного блога на WORDPRESS

# ENTOMOMETRY-2016

## (Workshop and Webinar)

воскресенье, 24 июля 2016 г.

### ИНФОРМАЦИЯ ОТ ОРГКОМИТЕТА

По многочисленным просьбам российских слушателей, для которых недоступен американский сайт нашей конференции, дублируем информацию о мероприятии на данном ресурсе.

С 27 июля 2016 г. по 31 июля 2016 г. в Бетесда (Мэриленд) будет проходить первая совместная (США-РФ) конференция по физической энтомометрии. Для удобства российских слушателей и докладчиков мы организуем возможность участия в мероприятии в формате вебинара.


Тематики приглашенных и подтвержденных серийных лекций:

- 1) Биофизические методы мониторинга динамики и численности насекомых с использованием мультиспектральных установок и мезочипов.
- 2) Математическая биоакустика: методы акустической и ультразвуковой идентификации насекомых по сигналам.
- 3) Расширенные принципы анализа мультиагентных систем в моделировании кооперативных эффектов мирмекологии и апиологии.
- 4) Новые геометрические методы в моделировании морфогенеза насекомых и визуализация инвариантных множеств.
- 5) Двумерные векторно-полевые подходы и метод диаграмм направленности в кооперативной нейробиологии насекомых.
- 6) Многофакторный неразрушающий контроль в биомеханической энтомометрии и принципы совмещения манипуляций in vivo и in situ.
- 7) Оптико-локационные и радиооптические методы в биофизической энтомометрии.

Модератор: В.Дж. Линь

По завершении конференции тезисы докладов будут вывешены на данном сайте. Планируется присвоение DOI присланным материалам.

**Обо мне**

 Entomometric Stations (USA-RU)

[Просмотреть профиль](#)

**Архив блога**

▼ 2016 (1)

▼ июля (1)

ИНФОРМАЦИЯ ОТ ОРГКОМИТЕТА

Рис. 9. Блог вебинара ENTOMOMETRY-2016 (июль 2016)



Моими коллегами было реализовано некоторое количество работ в этой области, в том числе – достаточно примитивные конструкции, опубликованные в данном журнале за 2018 г., включая те, в которых встречается термин «энтомометр» (Jablokov et al., 2018; Gradov, 2018). В первой работе (Jablokov et al., 2018) указывается «article considers the novel method and microdevice for entomometry», с акцентом на лепидоптерометрии («in lepidopterometry, known as the laser spectrozonal lens-less holographic lepidopterometer ore lepidopterograph»). В работе (Gradov, 2018), представляющей комментарий на первую, говорится, что: «The lens-less imaging/mapping station for the field-oriented entomological (particularly lepidopterological) measurement from the above work can be used not only as a simple spectrozonal CMOS-microscope, but also as a correlation-spectral analysis system based on the real time 2D Fourier spectra acquisition from the CRT- or LCD- monitor memory. Consequently, we can provide a novel technique for entomoscropy/entomometry aims, annotated as a correlation-spectral imaging and morphometry». Однако это, во-первых, не исчерпывает значений термина «энтомометрия», а, во-вторых, является лишь статическим её выражением. Для меня же наибольшая заслуга энтомометрии состоит в том, что она позволяет анализировать те же параметры насекомых, что и статические измерения, но в динамике, с географической привязкой, с указанием всех условий мониторинга, с идентификацией этологической реальности, в которой проводились измерения. То есть то, что описано в цитируемых статьях, является энтомометрией только в самом начальном смысле слова (как и энтомометр Ценнеке), *sensu stricto*. Это уступает даже ранним работам представителей того же коллектива (Градов и др., 2014), где достигались, в итоге, динамические репрезентации энтомоскопических событий. Опыт распределенных и удаленных вычислений (Рисунок 10) позволял экстраполировать подходы синхронного анализа данных о единичных событиях (в случае, изображенном на Рисунок 10 – ядерных, космических лучах, частицы которых взаимодействуют с детектором) на энтомометрию (насекомые того или иного вида проходят через зону детектирования энтомометра, а результат, который при многоканальном сборе данных может передаваться по цифровому либо оцифровываемому аналоговому каналу (Градов, Нотченко, 2012), сравнивается с моделью (Градов, Нотченко, 2013а; Градов, Нотченко, 2013b)).

**RADIOACTIVE@HOME** [участие в проекте добровольных распределенных вычислений]

Radioactive@Home is a polish science project using distributed computing capabilities of BOINC platform. The main goal of the project is to create free and constantly updated map of radiation available for all people, by gathering information about gamma radiation using sensors connected to computers of volunteers willing to participate in the project.

Руководитель НИР: **Marcin Z.**

Участники НИР: **Градов О., Панкратов С.К.**

Сторонняя организация: Fundacja BOINC Polska, Wrocław (Poland) | Berkeley Open Infrastructure for Network Computing, University of Berkeley (USA)

Срок исполнения: 19 января 2016 г. - 19 января 2018 г.

Номер договора (контракта, соглашения):

Номер ЦИТИС:

Тип: **Фундаментальная**

Приоритетное направление научных исследований: **другое**

Рубрики ГРНТИ:

29.03.85 Автоматизация физического эксперимента с применением ЭВМ

29.05.45 Космические лучи. Релятивистская астрофизика. Космология

29.05.81 Методика и техника эксперимента в физике элементарных частиц

**Рис. 10.** Пример международного проекта с распределенным сбором и обработкой данных, поддерживавшегося, в частности, нашей группой в период простоя вычислительных систем

### О возможности создания метрологических энтомометрических систем.

Многую ранее было предложено создание сети метрологических систем энтомометрии с использованием устройств, подобных описанным в только что цитированной работе. Затем, в 2016 г., был создан профиль «Entomometric Station (USA-RU)» и блог видеоконференции/вебинара «ENTOMOMETRY-2016 (Workshop and Webinar)» (Рисунок 7). В дальнейшем система, с развитием тематики, планировалась к переводу на платформу WORDPRESS (Рисунок 8), однако это сделано не было, осталась только DOI-фицированная версия задела (Pankratov, 2019). На данный момент все эти проекты, кроме ограниченного числа «безлинзовых видеоловушек», предназначенных для детектирования насекомых в природной среде, поддерживаемых (без источников финансирования и прикрепления к организации) мною, прекращены. Остался в сети урезанный блог видеоконференции/вебинара «ENTOMOMETRY-2016 (Workshop and Webinar)» с последними не удаленными данными от 24 июля 2016 года (рис. 9). На нем есть страница, на которой указаны тематики приглашенных серийных лекций в ходе вебинара:

1. Биофизические методы мониторинга динамики и численности насекомых с использованием мультиспектральных установок и мезочипов;
2. Математическая биоакустика: методы акустической и ультразвуковой идентификации насекомых по сигналам.
3. Расширенные принципы анализа мультиагентных систем в моделировании кооперативных эффектов мирмекологии и апиологии.
4. Новые геометрические методы в моделировании морфогенеза насекомых и визуализация инвариантных множеств.
5. Двумерные векторно-полевые подходы и метод диаграмм направленности в кооперативной нейрофизиологии насекомых.
6. Многофакторный неразрушающий контроль в биомеханической энтомометрии и принципы совмещения манипуляций *in vivo* и *in situ*.
7. Оптико-локационные и радиооптические методы в биофизической энтомометрии.

Мне не хотелось бы вникать в организационные проблемы, приведшие тематику к данному маргинальному состоянию. Находясь за рубежом, я достаточно хорошо понял, что подобные удаленные от прикладной практики работы более не нужны там, где мне пришлось работать и учиться – на масштабах страны, а не организации. Однако мне хотелось бы зафиксировать приоритет данного направления за собой и коллегами, которые участвовали в вебинаре или помогали в установке первых тестовых ловушек нашей системы (Градов и др., 2014) и сборе первичных данных. И хотелось бы отметить, что проблема направления состоит не в деньгах или иных ресурсах (необходимое ограниченное их количество могли достать и школьники, и citizen scientists – вебкамеры и диодные источники стоят недорого, микрофоны для записей могут быть сделаны из обычных), а в людях, которые перестали считать интересными фауну, в данном случае – энтомофауну, предпочитая более легкие способы удовлетворения запроса на взаимодействие с природой, не требующие личного инструментального участия в этом.

### Литература

Градов и др., 2014 – Градов О.В., Нотченко А.В., Линь В. Этолого-энтомологические лаборатории на чипе-трассирующие лабиринтные мирмекодромы для мониторинга динамики колоний в формикариях // *Прикладная энтомология*. 2014. 5(1): 28-36.

Градов, Нотченко, 2012 – Градов О.В., Нотченко А.В. (2012). Спектрозональные лаборатории на чипе с радиочастотной трансляцией / *Труды конференции Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии*, volume 3 of [Секция 6]. С. 63-68. Владимир – Суздаль.

Градов, Нотченко, 2013а – Градов О.В., Нотченко А.В. О возможности создания телеметрических установок для автоматического мониторинга этологии лесных муравьев в сопоставлении с математической моделью / *Муравьи и защита леса. Мат. XIV Всероссийского мирмекологического симпозиума*. Москва, 19-23 августа 2013 года. С. 41-44. М.: Тов-во научных изданий КМК.

Градов, Нотченко, 2013б – Градов О.В., Нотченко А.В. Принципы создания и эксплуатации diu-лабораторий на чипе для автоматического мониторинга этологии лесных

муравьёв в сравнении с математической моделью / *Муравьи и защита леса. Мат. XIV Всероссийского мирмекологического симпозиума*. Москва, 19-23 августа 2013 года. С. 45-50. М.: Тов-во научных изданий КМК.

**Card, Dickinson, 2008** – Card G., Dickinson M. Performance trade-offs in the flight initiation of *Drosophila* // *Journal of Experimental Biology*. 2008. 211(3): 341-353.

**Gradov, 2018** – Gradov O.V. Towards the Correlation-Spectral Multi-Channel Imaging [Comment to: “Spectrozoal Incoherent Lens-Less Imaging of Butterfly Leg and Laser Scanning Regime with Optical Aberrations for the Butterfly Leg Study in Single R-Spectral Channel”] // *Central European Journal of Zoology*. 2018. 4(1): 13-21.

**Jablokov et al., 2018** – Jablokov A., Nasirov P., Scrinnic A., Orehov T. Spectrozoal Incoherent Lens-Less Imaging of Butterfly Leg and Laser Scanning Regime with Optical Aberrations for the Butterfly Leg Study in Single R-Spectral Channel // *Central European Journal of Zoology*. 4(1): 22-30.

**Pankratov, 2019** – Pankratov S. Entomometry. 2019, March 1. [Electronic resource]. URL: <https://osf.io/fbt96/> DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/FBT96>

**Shaibani, 2010** – Shaibani S.J. HA07: Lessons in Physics from a Study of Hexapedal Entomometry / *AAPT Physical Education* (February 13–17, 2010).

## References

**Card, Dickinson, 2008** – Card G., Dickinson M. (2008). Performance trade-offs in the flight initiation of *Drosophila*. *Journal of Experimental Biology*. 211(3): 341-353.

**Gradov i dr., 2014** – Gradov, O.V., Notchenko, A.V., Lin', V. (2014). Etologo-entomologicheskie laboratorii na chipe-trassiruyushchie labirintnyemirmekodromy dlya monitoringa dinamiki kolonii v formikariyakh [Etologo-entomological laboratories on a chip-tracing labyrinthine world mecodromes for monitoring the dynamics of colonies in formicaria]. *Prikladnaya entomologiya*. 5(1): 28-36. [in Russian]

**Gradov, 2018** – Gradov, O.V. (2018). Towards the Correlation-Spectral Multi-Channel Imaging [Comment to: “Spectrozoal Incoherent Lens-Less Imaging of Butterfly Leg and Laser Scanning Regime with Optical Aberrations for the Butterfly Leg Study in Single R-Spectral Channel”]. *Central European Journal of Zoology*. 4(1): 13-21.

**Gradov, Notchenko, 2012** – Gradov, O.V., Notchenko, A.V. (2012). Spektrozoal'nye laboratorii na chipe s radiochastotnoi translyatsiei [Spectrozoal laboratories on a chip with radio frequency transmission]. *Trudy konferentsii Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii, volume 3 of [Sektzia 6]*. Pp. 63-68. Vladimir – Suzdal'. [in Russian]

**Gradov, Notchenko, 2013a** – Gradov, O.V., Notchenko, A.V. (2013). O vozmozhnosti sozdaniya teletricheskikh ustanovok dlya avtomaticheskogo monitoringa etologii lesnykh murav'ev v sopostavlenii s matematicheskoi model'yu [On the possibility of creating telemetric installations for automatic monitoring of the ethology of forest ants in comparison with a mathematical model]. *Murav'i i zashchita lesa. Mat. XIV Vserossiiskogo mirmekologicheskogo simpoziuma. Moskva, 19-23 avgusta 2013 goda*. Pp. 41-44. М.: Тов-во nauchnykh izdaniy KMK. [in Russian]

**Gradov, Notchenko, 2013b** – Gradov, O.V., Notchenko, A.V. (2013). Printsipy sozdaniya i ekspluatatsii diy-laboratorii na chipe dlya avtomaticheskogo monitoringa etologii lesnykh murav'ev v sravnenii s matematicheskoi model'yu [Principles of creating and operating diy-laboratories on a chip for automatic monitoring of the ethology of forest ants in comparison with a mathematical model]. *Murav'i i zashchita lesa. Mat. XIV Vserossiiskogo mirmekologicheskogo simpoziuma. Moskva, 19-23 avgusta 2013 goda*. Pp. 45-50. М.: Тов-во nauchnykh izdaniy KMK. [in Russian]

**Jablokov et al., 2018** – Jablokov, A., Nasirov, P., Scrinnic, A., Orehov, T. (2018). Spectrozoal Incoherent Lens-Less Imaging of Butterfly Leg and Laser Scanning Regime with Optical Aberrations for the Butterfly Leg Study in Single R-Spectral Channel. *Central European Journal of Zoology*. 4(1): 22-30.

**Pankratov, 2019** – Pankratov, S. (2019, March 1). Entomometry. [Electronic resource]. URL: <https://osf.io/fbt96/> <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/FBT96>

**Shaibani, 2010** – Shaibani, S.J. (2010). HA07: Lessons in Physics from a Study of Hexapedal Entomometry. *AAPT Physical Education* (February 13–17, 2010).

## Энтомометрия: от частного к общему?

Сергей Кириллович Панкратов <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Проект «Распределенные Энтомометрические Станции» (до закрытия)

**Аннотация.** Термин «энтомометрия» («entomometry»), введенный ранее в абстракте конференции "AAPT Physical Education" Shaibani в 2010 году в узком значении слова (*sensu stricto*) может быть расширен до более широкой трактовки (*sensu lato*) в случае принятия некоторых допущений о его значении. Инструментальная сторона его, на наш взгляд, имеет начало в работах XIX века. Так, известен энтомометр Ценнека (или Зеннека) *Zenneck entomometer*, описанный в позапрошлом веке в публикации, вышедшей в «*Polytechnisches Journal*» («*Der Entomometer, ein zu relativen und absoluten Dimensionsbestimmungen der Insecten eingerichtetes Instrument*»). Относительные, качественные видоспецифичные измерения, осуществлявшиеся с использованием данного прибора, в то же время, являлись лишь статическим вариантом общего подхода. Нами рассматриваются и динамические энтомометрические измерения, которые можно осуществлять с помощью телеметрических станций, стоимостью до 50-100 \$ за шт., изготавливавшихся в рамках проекта «Распределенные Энтомометрические Станции» (*Distributed Entomometric Stations Initiative, USA – Russia*) до его закрытия (в частности, автором настоящей статьи). Предлагаются конкретные подразделения энтомометрии как классификационно-метрологической системы и возможного источника создания баз данных для *data mining-a*; их возможные наименования означены в ключевых словах к настоящей статье.

**Ключевые слова:** энтомометрия, энтомометр, колеоптерометр, трихоптерометр, диптерометр, одонатометр, гемиптерометр, изоптерометр, лепидоптерометр, ортоптерометр, апиометр, мирмекометр, веспометр.