



Лаборатория сенсорных систем позвоночных
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Утришская морская станция

ОТЧЕТ ЛАБОРАТОРИИ

за 2018-2020 г.г.

Докладчики:

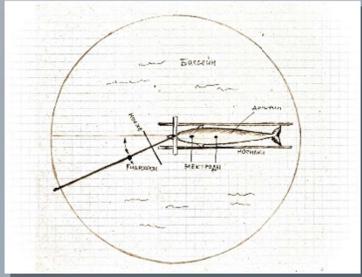
Заведующий лабораторией Попов В.В.

Главный научный сотрудник Супин А.Я.

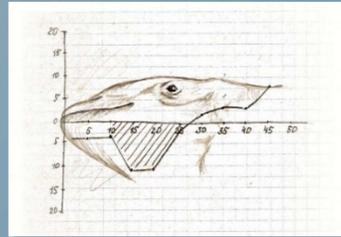
Старший научный сотрудник Нецаев Д.И.



Основные направления исследований



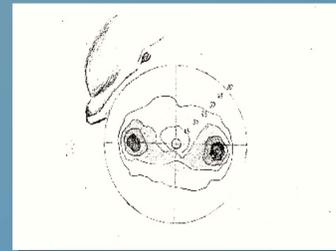
1. Функциональная организация высокочастотного слуха зубатых китообразных.



2. Морфофункциональные особенности слуховой системы китообразных, обеспечивающие устойчивость этих животных к антропогенным шумам.



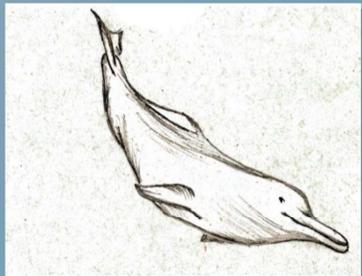
6. Сон морских млекопитающих



3. Морфофункциональная характеристика зрения водных и полуводных млекопитающих.



4. Особенности восприятия человеком сложных звуковых сигналов



5. Гидродинамика плавания и акустика китообразных.

ГРАНТЫ РФ

16-15-10046, РФ, «Диагностика остроты слуха на основе тест-сигналов со сложными частотно-временными рисунками», рук. Супин А.Я. Грант продлен до 2020 года и успешно завершен.

17-74-20107, РФ «Зависимость эффектов шумового загрязнения от особенностей звуковоспринимающей системы китообразных», рук. Сысуева Е.В. Успешно завершен в 2020 году.



ГРАНТЫ РФФИ

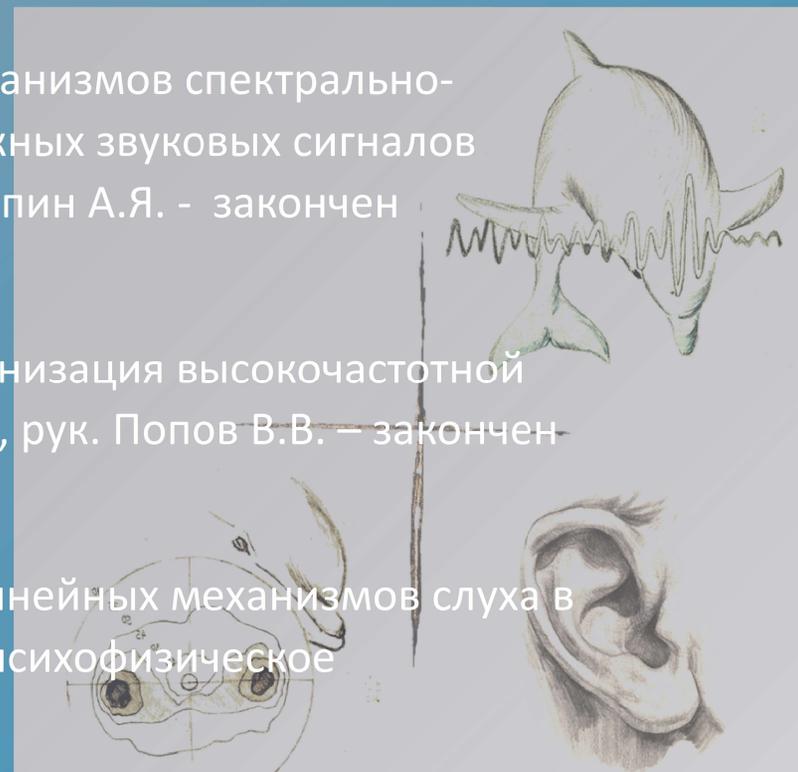
16-04-01306, РФФИ, «Механизмы действия антропогенного шума на морских млекопитающих», рук. Мухаметов Л.М. - закончен

16-04-00161, РФФИ, «Топографическая организация полей зрения у полуводных млекопитающих», рук. Масс А.М. - закончен

17-04-00096, РФФИ, «Взаимодействие механизмов спектрально-временного анализа при различении сложных звуковых сигналов (психофизическое исследование)», рук. Супин А.Я. - закончен

18-04-00088 РФФИ «Функциональная организация высокочастотной слуховой системы зубатых китообразных», рук. Попов В.В. — закончен

20-015-00054 РФФИ «Роль некоторых нелинейных механизмов слуха в различении сложных звуковых сигналов: психофизическое исследование», рук. Супин А.Я.



Статьи

Общее число, кроме тезисов (РИНЦ)- **61 (46)**

WEB of Science или Scopus – **45 (39)**

Статей в журналах с квартилью **Q1** по SJR (Scimago Journal & Country Rank) – **16 (26)**

Число «статей WS/S», деленное на общее число научных сотрудников – **4.5 (4.1)**

статьи WS/S

Попов В.В. зав.лаб., д.б.н. -	12 (10)
Супин А.Я. г.н.с., д.б.н. -	30 (22)
Романенко Е.В. г.н.с., д.б.н. –	2 (1)
Мухаметов Л.М. в.н.с., к.б.н. –	2 (5)
Масс А.М. с.н.с., к.б.н. –	3 (4)
Сысуева Е.В. н.с., к.б.н. -	12 (5)
Нечаев Д.И. н.с., к.б.н. -	26 (8)
Милехина О.Н. н.с., б/с -	12 (5)
Томозова М.С. ио.н.с., б/с -	1
Тараканов М.Б. м.н.с., б/с -	2 (0)



Наиболее значимые результаты

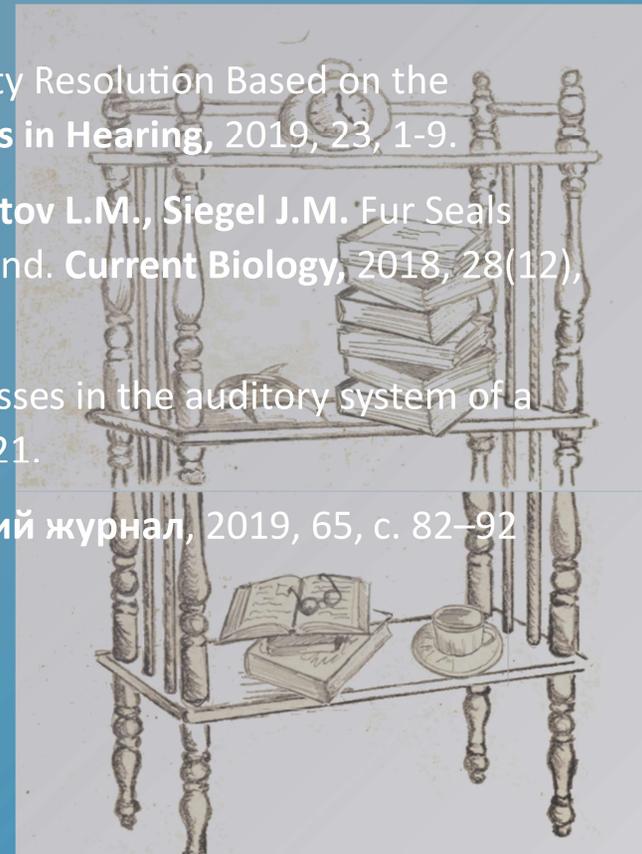
Публикации

1. **Popov V.V., Nechaev D.I., Sysueva E.V., Supin A.Ya.** The rate of cochlear compression in a dolphin: a forward-masking evoked-potential study. **Journal of Comparative Physiology A**, 2020, 206, 757-766.
2. **Mass A.M., Supin A.Y.** Eye optics in semiaquatic mammals for aerial and aquatic vision. **Brain, Behavior and Evolution**, 2019, 92, 117-124.
3. **Nechaev D.I., Milekhina O.N., Supin A.Y.** Estimates of Ripple-Density Resolution Based on the Discrimination From Rippled and Nonrippled Reference Signals. **Trends in Hearing**, 2019, 23, 1-9.
4. **Lyamin O.I., Kosenko P.O., Korneva S.M., Vyssotski A.L., Mukhametov L.M., Siegel J.M.** Fur Seals Suppress REM Sleep for Very Long Periods without Subsequent Rebound. **Current Biology**, 2018, 28(12), 2000-2005.
5. **Popov V.V., Nechaev D.I., Supin A.Y., Sysueva E.V.** Adaptation processes in the auditory system of a beluga whale *Delphinapterus leucas*. **PLOS ONE**, 2018, 13(7), e0201121.
6. **Романенко Е.В.** Акустика дельфинов и рыб (обзор). **Акустический журнал**, 2019, 65, с. 82–92

Награды

Нечаев Дмитрий

лауреат премии имени академика В.Е.Соколова, 2020 год



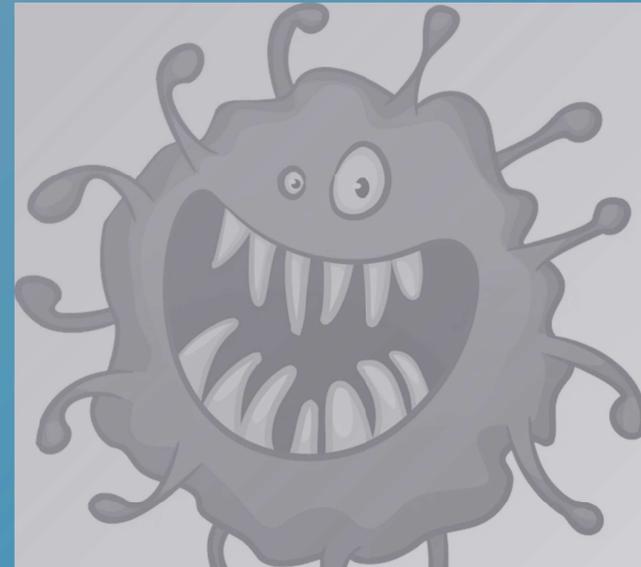
Наиболее значимые результаты

Ксения Нечаева



Ковидные проблемы

1. Потеря половины экспедиционного сезона в 2020 году
2. Отменена поездка в Китай в город Ухань. Срыв совместных работ с Институтом гидробиологии КНР на беспёрой морской свинье
3. Процент привившихся от «ковида» - 11,1%



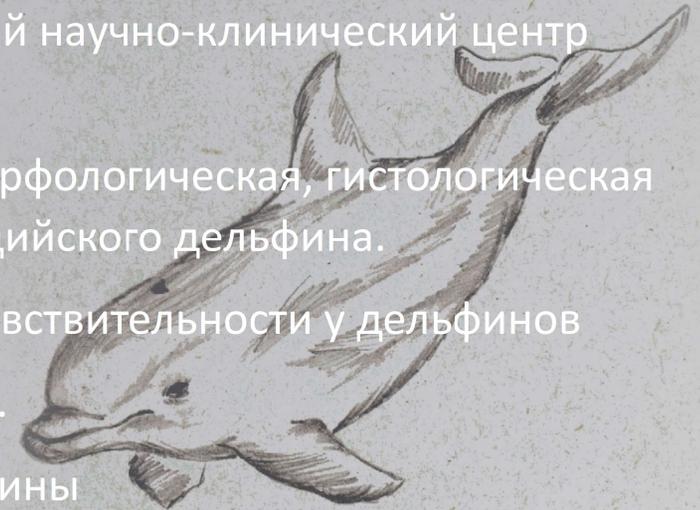
Ковидные проблемы

Вариант «удаленки» и самоизоляции, разработанный в лаборатории



Планы на ближайшее будущее:

1. Продолжены работы по теме - **Функциональная организация высокочастотного слуха зубатых китообразных.**
 - а) механизмы пространственного слуха у дельфинов
 - б) влияние процессов адаптации в слуховой системе дельфина на различение звуковых сигналов.
2. Продолжены попытки довести до практического (в медицине) применения те методы и подходы, которые наработаны нами при исследовании восприятия человеком сложных звуковых сигналов. (Российский научно-клинический центр Аудиологии и слухопротезирования).
3. Будут исследованы оптические структуры глаза, морфологическая, гистологическая и топографическая организация сетчатки у ирравадийского дельфина.
4. Мы планируем начать исследование тактильной чувствительности у дельфинов
5. Продолжение работ по гидродинамике дельфинов.
6. Защита кандидатской диссертации Томозовой Марины



Основные проблемы

1. Фактическое уничтожение РФФИ
2. Необходимость омоложения коллектива





Лаборатория сенсорных систем позвоночных

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Утришская морская станция



ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ ДЕЛЬФИНОВ

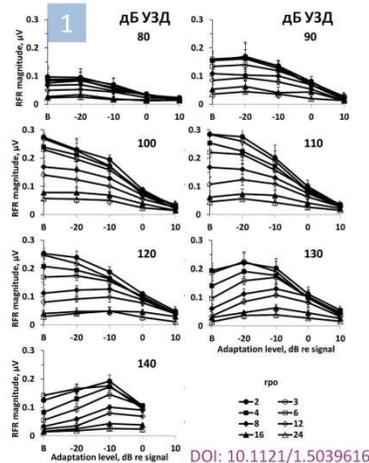
Е.В. Сысуева¹,
А.П. Гвоздева²,
Д.И. Нечаев¹,
М.Б. Тараканов¹,
В.В. Попов¹,
А.Я. Супин¹

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН Москва

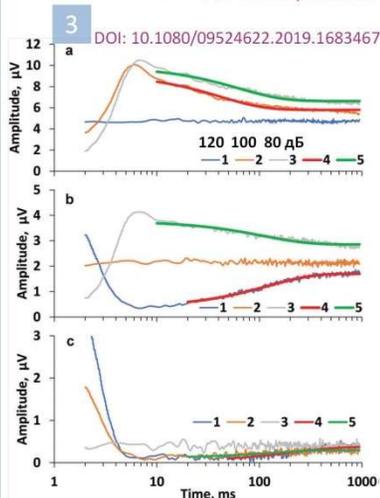
²Институт Эволюционной Физиологии и Биохимии им. И.М.Сеченова РАН Санкт - Петербург

Контакты:
evgeniasysueva@gmail.com

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 17-74-20107.



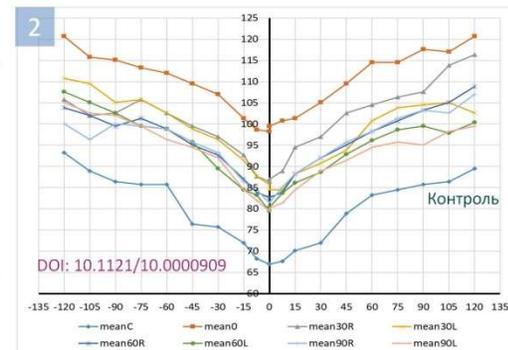
DOI: 10.1121/1.5039616



DOI: 10.1080/09524622.2019.1683467

1 Впервые показано влияние длительных шумов малой интенсивности (от -20 до +10 дБ относительно уровня звукового давления (УЗД) тест – сигнала) на частотную разрешающую способность слуха (ЧРС) белухи (*Delphinapterus leucas*). Использован метод тестирования реверсией фазы гребенчатого спектра в сочетании с неинвазивной регистрацией СВП. Метод разработан и апробирован научным коллективом при участии авторов проекта. Исследование показало, что фоновый (адаптирующий) шум влиял на способность белухи различать тонкий спектральный рисунок звукового стимула. При этом **имеет место немонотонная зависимость показателей ЧРС (ripples per octave, rpo) от различных комбинаций тестового и адаптирующего сигналов**. При интенсивности тест-сигнала до 100 дБ УЗД показана прямая зависимость: чем выше интенсивность фонового шума, тем меньше амплитуда ответа на тестовый стимул. При более высоких интенсивностях тест-сигналов (более 120 дБ УЗД), фоновый шум вызывал эффект прямо противоположный: чем выше интенсивность фонового шума, тем больше амплитуда ответа. Полученные эффекты адаптации возможно объяснять снижением чувствительности слуховой системы при восприятии сигналов с высокой интенсивностью до уровня, оптимального для анализа высокоинтенсивных сигналов.

2 Впервые были получены данные о влиянии шумов малой интенсивности на пространственный слух дельфинов, в частности, на остроту луча приема (зависимость слуховой чувствительности от направления на источник звука). Исследование проведено на черноморском дельфине афалине (*Tursiops truncatus ponticus*). Задачей исследования являлось для заданной частоты определить ширину луча приема и построить диаграммы направленности в присутствии шумовой помехи. В качестве помехи использован широкополосный шум малой интенсивности (УЗД шума 105 дБ относительно 1 мкПа). Тестовые стимулы представляли собой серии коротких тональных посылок с несущей частотой 64 кГц. Исследовали изменение луча приема во время действия шумовой помехи с разных направлений относительно точки вращения (кончик рострума дельфина). Проводили сравнение форм луча приема в шуме с лучом приема в тишине.



DOI: 10.1121/10.0000909

Эффект присутствия шумовой помехи выражался не в деформации луча, но в общем подъеме слуховых порогов, максимальном во фронтальном, наиболее чувствительном, направлении и далее равномерно и симметрично по обеим ветвям луча.

3 На примере бесперой морской свиньи (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) были изучены процессы адаптации слуховой системы во время воздействия звукового сигнала. После увеличения уровня УЗД амплитуда ответа быстро увеличивалась и в последствии затухала медленно. После падения УЗД амплитуда ответа падала быстро или могло возникнуть почти полное подавление с последующим медленным восстановлением. Временная константа подавления ответа после увеличения УЗД и временная константа восстановления ответа после уменьшения УЗД составили 59.2 и 153.0 мс, соответственно. Исходя из полученных данных, **ответ стабилизируется менее чем за одну секунду**, это означает, что **слуховая система бесперой морской свиньи (гипотетически, и других зубатых китов) способна быстро регулировать свою чувствительность к текущей акустической среде**. В частности, в среде, загрязненной акустическим шумом, такая гибкость может позволить быстро восстановиться слуховой чувствительности, что важно для эффективного использования слуха в пространственной ориентации.

БЛАГОДАРНОСТИ



Авторы выражают благодарность сотрудникам Ученской морской станции и Института Биологической Импальней Академии наук (Mubar Institute of Hydrobiology) за предоставление

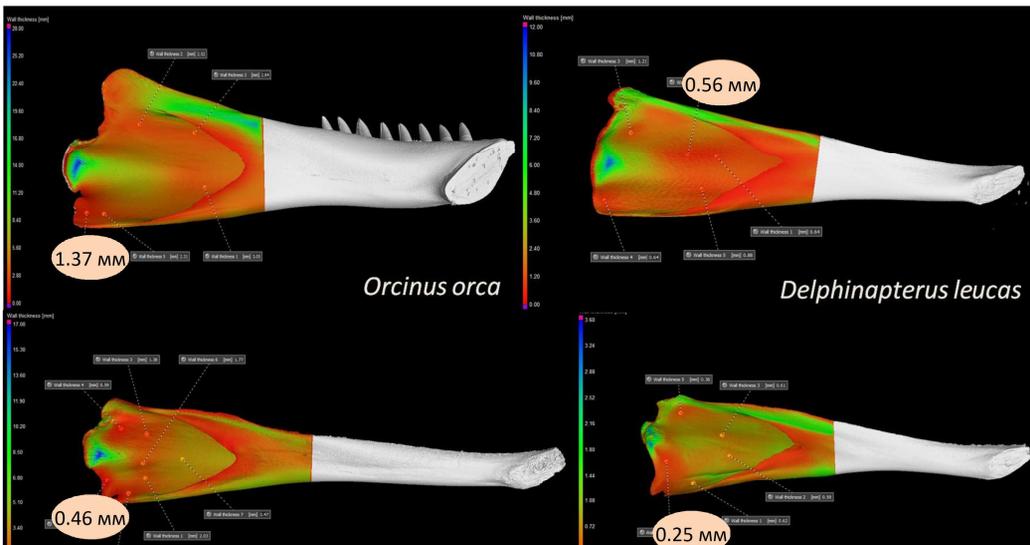
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО МОРФОЛОГИИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ЗУБАТЫХ КИТОВ: ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ КОСТИ ВНЕШНЕЙ СТЕНКИ

Евгения Сысуева, Дмитрий Нечаев

В этом исследовании нас интересовала область предполагаемого «акустического окна», которое, согласно одной из ведущих гипотез о звукопроведении у дельфинов, гипотезе Норриса (Norris, 1968), расположено на внешней стенке нижней челюсти в области ее расширения и максимального истончения кости. Согласно гипотезе, этот истонченный участок («панбоне») задействован в процессе передачи звуковых колебаний из внешней водной среды в жировой тяж внутри нижней челюсти и далее в структуры среднего и внутреннего уха. Гипотеза не указывает точного расположения «панбоне», но предполагает, что подобный способ звукопередачи свойственен для всего подотряда зубатых китов (Odontocetes). В гипотезе не уточняется, как различается толщина «панбоне» у разных видов, ведь в подотряд входят и такие крупные животные как косатки (до 10 м) и такие миниатюрные как морские свиньи (1.5-2 м), так же открытым остается вопрос, как эта толщина влияет на звукопроведение. Следует отметить, что диапазон воспринимаемых частот у зубатых китов, вне зависимости от размеров тела, примерно одинаков. Все эти факты, и побудили нас дополнить имеющиеся знания по морфологии нижней челюсти дельфинов новыми данными. В результате, при помощи промышленной томографии, нами были получены 3-D модели 17 нижних челюстей от 11 особей разных видов зубатых китов. Произведен анализ полученных моделей на предмет толщины кости проксимального участка челюстей (VGStudio Volume Graphics, sphere analysis) в области предполагаемого акустического окна.



Примеры результатов томографии



Была показана прямая зависимость толщины костной стенки от размера животного. У самых маленьких представителей подотряда зубатых китов - морских свинок - минимальная толщина внешней стенки составила от 0.25 до 0.36 мм, у представителей видов средних размеров - ирвадийский дельфин, обыкновенный дельфин, дельфин афалина - от 0.32 до 0.46 мм, тогда как крупные виды такие, как белуха и косатка, имели толщину кости от 0.45 до 1.7 мм. Область наибольшего истончения внешней стенки нижней челюсти (акустическое окно по Норрису (Norris, 1968), «панбоне») у исследованных образцов располагалась преимущественно в верхней части проксимального участка нижней челюсти или рядом с нижним углом нижней челюсти, а не по центру, как предполагалось ранее. Этот факт должен быть принят во внимание, прежде всего, при проведении исследований по методу контактной акустической стимуляции для корректной установки излучателя звука на челюсти.

Результаты исследования были представлены на 178-м совещании

Разрешающая способность сетчатки дельфина *Tursiops truncatus* на ранней стадии постнатального онтогенеза по данным ретинальной топографии

Масс А.М.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, г.Москва email: alla-mass@mail.ru

Переход к полностью водному образу жизни в процессе эволюции китообразных привел к глубокой анатомо-физиологической перестройке зрительной системы, позволившей превратить глаз наземного животного в амфибийный и обеспечить хорошее зрительное разрешение в воде и воздухе. В литературе отсутствуют сведения по топографии сетчатки китообразных в онтогенезе, в частности, по развитию и формированию зон с максимальной плотностью ганглиозных клеток, ответственных за ретинальную разрешающую способность.

Задачей настоящей работы было исследование распределения ганглиозных клеток и оценка ретинальной разрешающей способности дельфина *Tursiops truncatus* L на ранней стадии постнатального онтогенеза. На трех новорожденных дельфинах исследована топография ганглиозных клеток на тотальных препаратах сетчатки (wholemounts). В работе был использован метод определения разрешающей способности, позволяющий рассчитать зрительное разрешение у труднодоступных животных морфологическим методом. Исследованы структура ганглиозного слоя сетчатки, идентифицированы ганглиозные клетки и измерены плотности распределения ганглиозных нейронов по поверхности сетчатки.

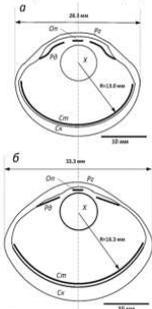


Рис. 1. Структура глаза новорожденного (а) и взрослого (б) дельфина. Рг – роговица, Оп – оперкулум, Х – хрусталик, Рд – радужка, Ст – сетчатка, Ск – склера.

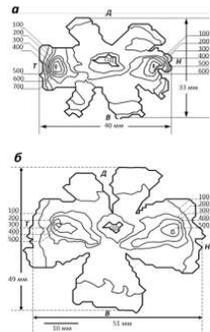


Рис.4

Карты плотности ганглиозных клеток в тотальных препаратах сетчатки новорожденного (а) и взрослого (б) дельфина. Плотность клеток обозначена равноразрывными линиями, значения которых показаны на краях препаратов. Стрелки обозначают размер сетчатки по вертикальному и горизонтальному меридианам. Д, В, Н, и Т –

Исследованы размеры глаза и строение сетчатки у новорожденных и взрослых бутылконосых дельфинов *Tursiops truncatus*. У новорожденных животных полностью сформирована оптическая схема глаза (Рис.1а), послышная организация сетчатки (Рис.2а) и ганглиозного слоя (Рис.3а,б). У взрослых особей; размер глаза больше (постеронодальное расстояние составляет 16 мм, у новорожденных - 13 мм; больше толщина сетчатки (соответственно 235 и 160 мкм), больше площадь сетчатки (соответственно 1312 и 777 мм²).

Измерено распределение плотности ганглиозных клеток по всей поверхности сетчатки. Плотность ганглиозных клеток в зонах повышенной концентрации выше у новорожденных (708 клеток/мм²), чем у взрослых животных (694 клеток/мм²). Построены топографические карты такого распределения на тотальных препаратах (Рис.4) У новорожденных животных выявлены две зоны повышенной плотности ганглиозных клеток, которые локализованы в назальном и темпоральном квадрантах на горизонтальном диаметре сетчатки на расстоянии 10-11 мм от геометрического центра, так же, как у взрослых животных (Mass,Supin,1995). У новорожденных животных максимальная плотность ганглиозных клеток в зонах концентрации лежала в пределах от 600 до 760 клеток/мм², в среднем по трем препаратам - 708 клеток/мм². За пределами зон концентрации плотность клеток быстро снижалась, и на большей части сетчатки не превышала 100 – 200 клеток /мм². Сходные значения получены ранее на взрослых животных.

Рассчитана ретинальная разрешающая способность, она составила (8.2' у взрослых особей и 9.7' у новорожденных).т. е близкие значения.

Таким образом, постнатальное развитие не вносит принципиальных изменений в строение глаза и выражается в количественном сдвиге основных параметров. Таким образом, к моменту рождения у дельфина вполне сформированы как топографическая структура сетчатки, так и ретинальное разрешение. Такой характер созревания сетчатки естественно связать с образом жизни (воздушное дыхание при живорождении в водной среде), что требует способности к активной локомоции сразу же после рождения.

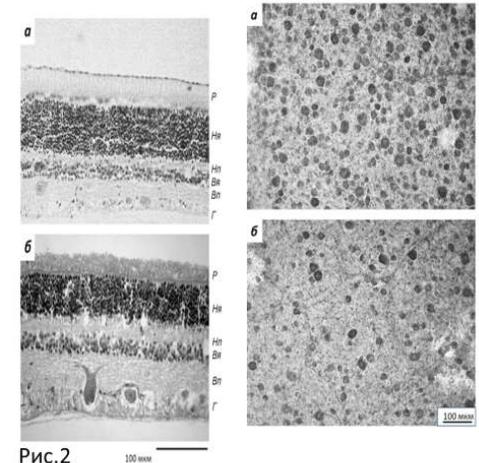


Рис.2

Поперечные срезы сетчатки новорожденного (а) и взрослого (б) дельфина. Слои сетчатки: Р – рецепторный, Нп – наружный ядерный, Нв – наружный плексиформный, Вп – внутренний плексиформный, Г – ганглиозный.

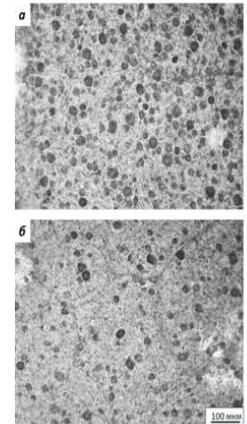


Рис.3. Ганглиозный слой тотального препарата сетчатки новорожденного дельфина. а – зона высокой плотности ганглиозных клеток, б – зона низкой плотности

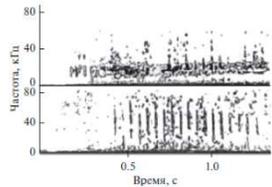
АКУСТИКА ДЕЛЬФИНОВ И РЫБ (ОБЗОР)

Е. В. Романенко

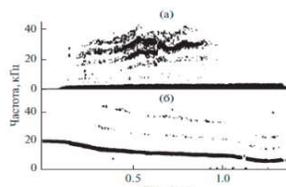
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Россия, 119071 Москва, Ленинский просп. 33, e-mail: evromanenko33.00@mail.ru

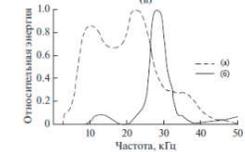
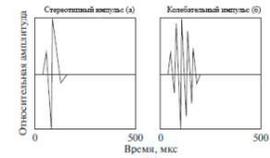
Обзор посвящен анализу исследований и разработок, связанных с акустикой дельфинов и рыб. Основное внимание уделено структуре эхолокационных звуков дельфинов в условиях воздействия интенсивных шумовых помех. Звуки регистрировали и излучали непосредственно на голове дельфина (*Tursiops truncatus*) в точках предположительного входа акустической информации (слуховые проходы, лобный выступ, нижняя челюсть). Исследованы звуки также внутри носового прохода с целью более точной локализации источников излучения. Звуки рыб регистрировали в водоеме, в котором они находились.



Сонограммы внутреннего звука на фоне импульсной серии (а) и та же самая импульсная серия, зарегистрированная на голове дельфина (б).



Сонограммы внутреннего звука (а) и коммуникационного свиста (б).



Форма и спектр импульсов

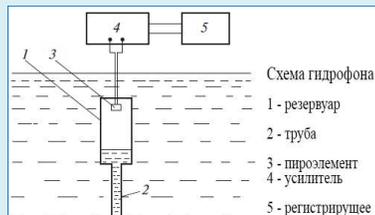
Структура излучаемых дельфином звуков зависит от характера шумовой помехи и от расположения источника шума. Реакция дельфина наблюдалась только при расположении излучателей шума у слуховых проходов и отсутствовала, когда они были прикреплены к нижней челюсти и лобному выступу.

Анализ показал, что дельфины способны целенаправленно изменять структуру (спектр) излучаемых звуковых сигналов под воздействием предельно интенсивных шумовых помех с целью повышения их помехоустойчивости, переходя к использованию колебательных импульсов вместо стереотипных. Спектр излучаемых дельфином звуков зависит не только от интенсивности шумовой помехи, но и от того, является ли она когерентной или некогерентной. Когерентная помеха - это помеха, излучаемая одним источником (излучателем).

Инфразвуковой гидрофон

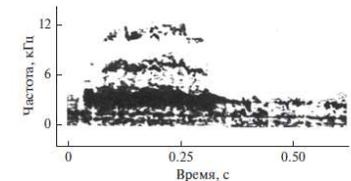
Регистрация звуковых и ультразвуковых колебаний в воде проблем не вызывает и осуществляется с помощью пьезокерамических преобразователей. Регистрация инфразвуковых колебаний представляет известные трудности.

Нами разработан и испытан в экспериментальных условиях инфразвуковой гидрофон работающий на пьезоэлектрическом принципе. Чувствительный элемент гидрофона выполнен в форме тонкой пластинки (пьезоэлемент), окруженной воздушной средой. Изменения давления в воздушной среде сопровождаются изменениями температуры, которые и воспринимаются пьезоэлементом. Высказаны предположения о механизме излучения звуков дельфинами и рыбами.

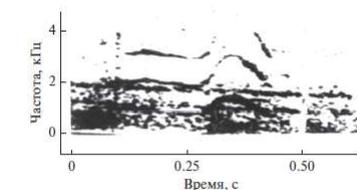


Некогерентная - та, которая создается разными источниками. При отсутствии шумовых помех дельфины издают, как правило, широкополосные стереотипные импульсы. В присутствии интенсивных помех дельфин меняет спектр излучаемых звуков, который становится узкополосным.

Спектр излучаемых дельфином и рыбами звуков весьма широк - от единиц Гц до сотен кГц.



Высокочастотный свист белуги *Huso huso*





АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ РАЗЛИЧЕНИЯ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРОМ

и.о.н.с. Томозова М.С. и н.с. Милехина О.Н. Контакты: m.tomozova86@mail.ru

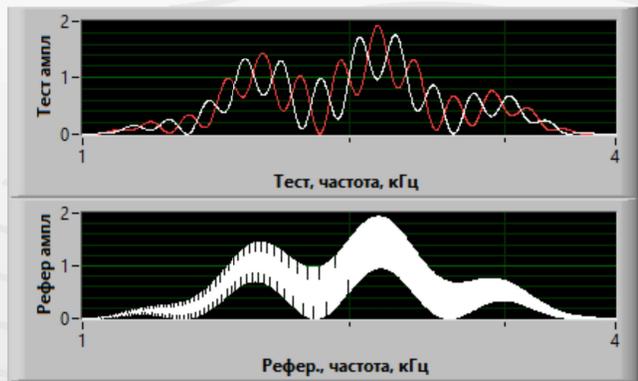


Рис.1 Примеры форм спектрального рисунка тестового и референтного сигналов

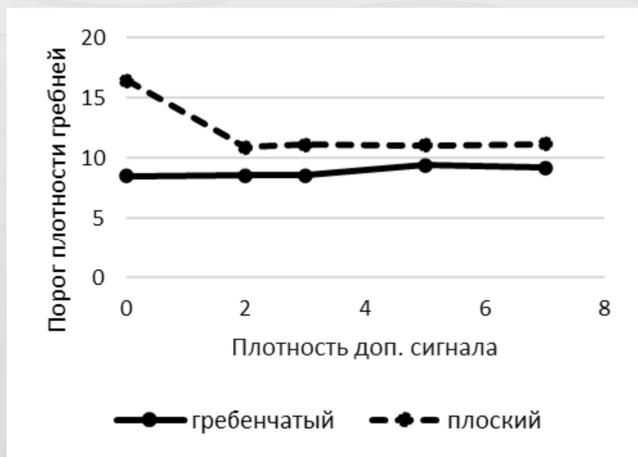


Рис.2 Зависимость порогов плотности от плотности доп. сигнала

Стимулы с гребенчатым спектром используются как форма представления сложных звуковых сигналов. Обычная спектральная форма - это гребенчатый шум, где пики гребней равномерно разнесены, но могут изменяться по высоте вслед за огибающей. Была исследована чувствительность слуха 9 здоровых испытуемых к увеличению плотности гребней в спектре доп. сигнала. Цель исследования – определение порогов различения при использовании дополнительного сигнала.

Психоакустическим методом измерялись пороги различения в зависимости от плотности гребней доп. сигнала. Тест-сигнал обладал короткими реверсиями фазы гребней спектра. В качестве референтного сигнала использовали либо сигнал с гребенчатым спектром, в котором, в отличие от тест-сигнала, фаза гребней была постоянной, либо сигнал с «плоским» (без гребенчатой структуры) спектром рис. 1.

1. Получены данные о зависимости порогов от увеличения плотности гребней при различении сигналов со сложным гребенчатым спектром при присутствии доп. сигнала. При увеличении плотности гребней >0 доп. сигнала изменение порогов было незначительным (прибл. 1%) (рис.2);
2. Были проанализированы пороги различения для разных референтных сигналов. Пороги при использовании референтного гребенчатого сигнала были значимо ниже по сравнению с сигналом с «плоским» спектром (прибл. на 19%) (рис.2);
3. Был произведен анализ порогов различения с использованием и без использования доп. сигнала. В сравнении со стимулом без использования доп. сигнала при гребенчатом референтном сигнале изменение порога являлось незначительным (прибл. 1%), при плоском наблюдалось увеличение порога в несколько раз (рис.2).

Особенности сна северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) в воде

Мухаметов Л.М.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, г.Москва; email: lev.mukhametov@gmail.com

Введение

Сон млекопитающих состоит из двух стадий – медленноволнового сна (МС) и парадоксального сна (ПС). Все наземные млекопитающие во время сна неподвижны, глаза при этом закрыты. Медленные волны ЭЭГ развиваются в двух полушариях головного мозга одновременно. Сон китообразных происходит только в воде и отличается от сна наземных млекопитающих сохранением двигательной активности, однополушарным МС, закрыванием одного глаза, отсутствием ПС.

Методика и Результаты исследования

Северный морской котик, представитель ластоногих, может спать и на суше и в воде. Исследования сна были выполнены на 4 северных морских котиках. Всем животным были вживлены электроды для регистрации электрокортикограммы двух полушарий, электромиограммы шейной мускулатуры, электроокулограммы и электрокардиограммы.

Эти исследования показали, что переход от наземного к водному образу жизни сопровождается у котиков сменой «типично наземного» сна (билатерально симметричный МС, неподвижность, хорошо выраженный ПС) на «водный» тип сна, характерный для китообразных (сохранение двигательной активности, однополушарный МС, почти полное отсутствие ПС) (Рис.1). Причем спят котики на поверхности воды то на одном боку, то на другом и одна передняя лапа непрерывно совершает гребковые движения, необходимые для постоянного сохранения ноздрей в воздухе.

Сон в воде у котиков на протяжении 10-14 суток состоял преимущественно из однополушарного МС (94±1% всего МС в воде). Продолжительность ПС на суше составляла в среднем 80 минут в сутки, а в воде всего 3 минуты (снижение более, чем в 25 раз; ANOVA, $F_{13,33} = 27,506$, $P < 0,001$). Число эпизодов ПС на суше составляло 35±8 в день, а в воде – 4±1 (различия примерно в 8 раз; $F_{13,33} = 10,754$, $P < 0,001$). Средняя длительность эпизода ПС была 174±50 и 13±2 секунд соответственно (различия более чем в 12 раз; $F_{13,33} = 6,508$, $P < 0,001$). Находясь в воде две недели, морские котики накапливали дефицит ПС в количестве 15-20 часов. Однако после возвращения на сушу у них не наблюдалась «отдача» сна, как у наземных млекопитающих, то есть

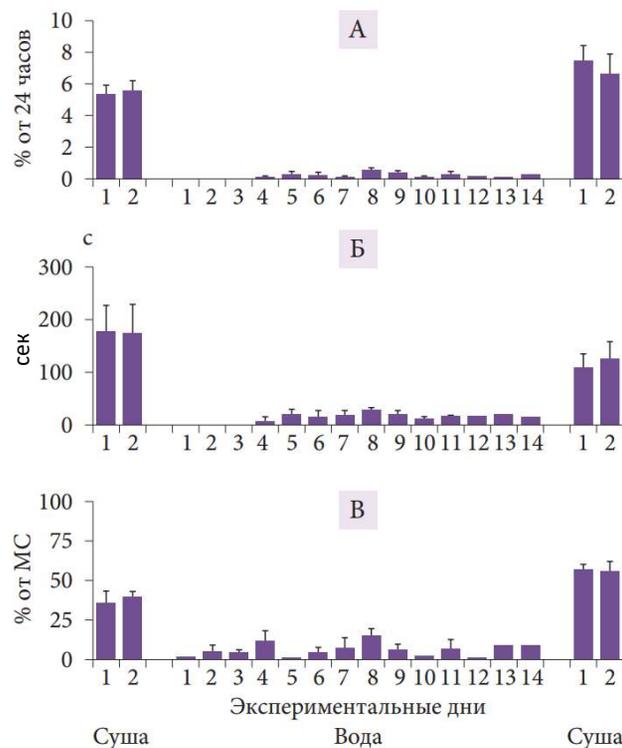


Рисунок 1. Суммарная длительность ПС (А), длительность эпизодов ПС (Б), а также пропорция билатерально-симметричного МС (В) у котиков на суше, в воде, а также после возвращения на сушу (средние значения).

Заключение

Таким образом, во время сна на поверхности моря у северных морских котиков сохраняется несимметричная двигательная активность, которая имеет результатом возникновение межполушарной асимметрии МС и