

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

РЫБЧЕНКО Александр Алексеевич

профессор, доктор технических наук

ЧЕРНЕНКО Василий Анатольевич

старший преподаватель

БЕЗРУКИХ Юлия Владиславовна

студент

СМОЛЕНСКИЙ Егор Викторович

студент

КРАВЧЕНКО Михаил Сергеевич

студент

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

г. Владивосток, Приморский край, Россия

В работе был проведен анализ методов оценки функционального состояния организма морских млекопитающих. Целью настоящего исследования явился поиск оптимальных электроакустических датчиков для снятия акустоэнцефалограммы и отработка технологии мониторинга функционального состояния и здоровья животного, неинвазивного съема диагностической информации, который можно было бы проводить многократно. Впервые была апробирована методика регистрации акустоэнцефалограммы с головного мозга белухи. Аппарат «РС АЭГ-01» был модернизирован для съема АЭГ с головы морского млекопитающего позволяя регистрировать спектр ритмов в диапазоне 0.1-27 Гц с выделением 8400 спектральных гармоник и временем интегрирования 160 с. Была отработана схема проведения исследования в положении белухи «лежа на воде», способ и место расположения индукционных датчиков акустического сигнала.

Ключевые слова: индукционный вибродатчик, акустоэнцефалограмма, акустическое поле головы, электроэнцефалограмма.

Ученые разных стран мира длительное время проявляют интерес к изучению морских млекопитающих. Ведется поиск методов оценки функционального состояния организма, критериев адаптации к новым условиям обитания, степень напряжения, диагностика и выявление различных заболеваний у морских млекопитающих. Образ жизни дельфинов, белух и других морских животных отличается от жизни наземных млекопитающих, поэтому стандартные методы диагностики организма сложно применить к млекопитающим, живущим в водной среде. Наиболее популярными остаются инвазивные методы анализа состояния организма, например анализ крови.

Так Н.Н. Кавцевич с помощью исследования структуры популяции лимфоцитов периферической крови афалин, выявил существенные различия по параметрам активности неспецифической эстеразы, содержанию гликогена и корреляциям между ними в зависимости от состояния животных. Полученные данные могут быть использованы при оценке и коррекции хода адаптации дель-

финов к неволе [1]. Инвазивные методы достаточно точны, но обладают одним из существенных недостатков – небезопасностью для животного и высоким стрессовым состоянием после процедуры. В последнее время, наибольший интерес вызывают неинвазивные методы диагностики.

Ученые из США активно исследуют метод взятия проб выдыхаемого воздуха китообразных и последующий спектральный анализ, на основе которого можно сделать выводы о функциональном состоянии организма [7; 8]. Ученые-биологи из Сан-Диего опубликовали отчет, в котором описывается первое использование магнитно-резонансных томографии (fMPT) живых дельфинов для регистрации функционального сканирования головного мозга [10]. В конце 60-х гг. прошлого века Дж. Шарлей с коллегами предприняли попытку зарегистрировать ЭЭГ у гринды [11]. В 1973 г. Л.М. Мухаметов и А.Я. Супин начали систематическое изучение ЭЭГ дельфинов с использованием вживленных электродов. Исследования проводились на побережье Черного моря на Утришской морской станции.

Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН и привели к открытию уникальных особенностей сна китообразных, включая: однополушарный медленноволновый сон, способность спать во время движения закрывая при этом только один глаз, а так же отсутствие парадоксальной фазы сна (Лямин и др., 2013; Супин и др., 1978).

Так же, известны попытки японских ученых снятия ЭЭГ у афалины новым неинвазивным методом, путем размещения электродов на поверхности кожи головы во время транспортировки млекопитающего [9]. Однако, практически все эти методы исключают возможность длительного мониторинга состояния животного с целью определения степени его адаптации к неволе, уровня его здоровья без закрепления отрицательных эмоций, боязни исследований, что несомненно скажется на конечных результатах.

Целью настоящей работы явился поиск и отработка технологии мониторинга здоровья морского млекопитающего, неинвазивного съема диагностической информации, которую можно было бы проводить многократно.

Выбор методики исследования. С целью проведения мониторинга здоровья морских млекопитающих мы обратили внимание на комплекс для функционально топической диагностики организма человека на основе спектрального анализа биоэлектрической активности головного мозга. Аппарат «РС АЭГ-01» был разработан в НИЦ «Арктика» ДВО РАН для эксплуатации в сложных

условиях применения и принципиально отличался от классических ЭЭГ аппаратов совершенно новыми подходами к получению диагностической информации, что делало его применение возможным в морских условиях [5]:

- аппарат осуществлял спектральный анализ ритмов головного мозга в диапазоне 0.1-27 Гц с выделением в этой полосе 8400 спектральных гармоник;

- каждая спектральная гармоника была получена интегрированием сигнала за время 160 с;

- для съема информации использовались только два датчика с левого и правого полушария в височно-теменной области;

- время интегрирования 160 с определяло высокую надежность получаемой информации и специфичность к получению данных о висцеральной сфере организма;

- все 8400 спектральных гармоник были свернуты в матрицу множества функциональных состояний эффекторов – «висцером», анализ которой позволял проводить функционально-топическую диагностику организма человека, выделять очаг патологии и его локализацию, стадии развития воспалительного процесса, определять признаки развития опухоли;

- рассчитывался ряд системных индексов оценки состояния здоровья, среди которых наиболее важные – индекс напряжения симпатических механизмов, вегетативный индекс (стресс индекс), индекс индивидуального здоровья, индекс децентрализации.

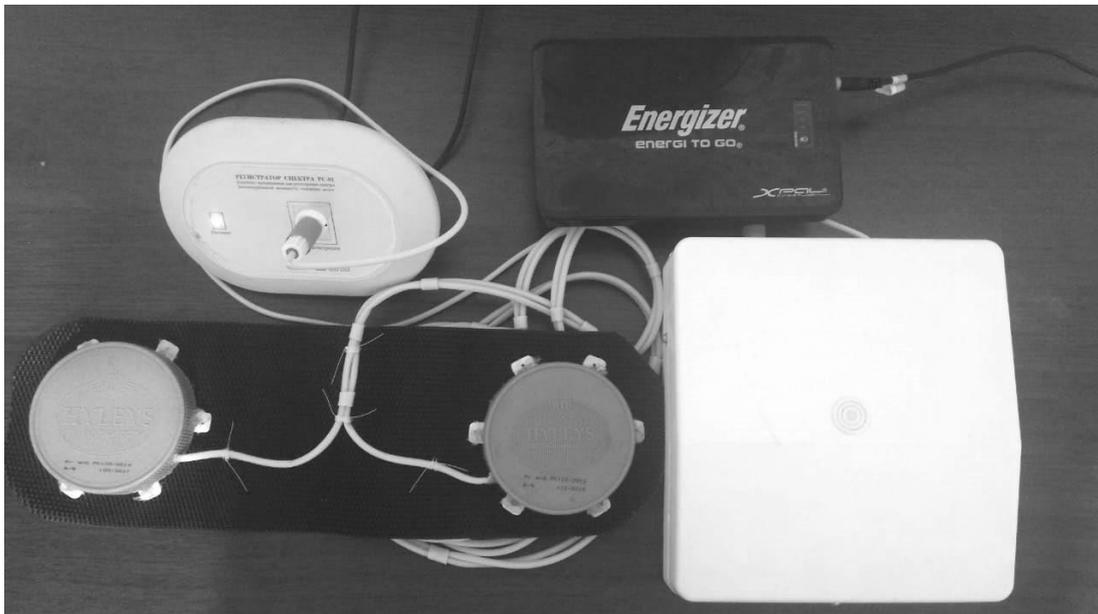


Рисунок 1. Общий вид прибора «РС АЭГ-01». Вибродатчики закреплены на прорезиненной ленте и выполнены с гидроизоляцией

В последней модификации регистратора спектра «РС АЭГ-01» для съема информации с головы пациента вместо ЭЭГ электродов были использо-

ваны индукционные датчики вибраций для регистрации акустического поля головы. Впервые на возможность регистрации акустоэнцефалограммы

(АЭГ) обратили внимание во Фрязинском филиале института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. С помощью пьезопреобразователей продольных акустических колебаний были обнаружены новые акустические сигналы, генерируемые головой человека и предложен метод акустоэнцефалографии [3]. В дальнейшем нами было установлено, что с поверхности головы с помощью индукционных приемников скорости вибраций возможна регистрация биоакустических сигналов. По своей форме и частотным характеристикам сигналы напоминают стандартную запись электроэнцефалограммы. По всей видимости, источником таких сигналов могли быть вибрации внутримозговых сосудов, обеспечивающие метаболизм нейронов, сами нервные сети (триада капилляр-астроцит-нейрон), магистральные артерии и вены головы, тремор скелетной мускулатуры головы и тела при осуществлении вестибулярного рефлекса. Детальные исследования по корреляции ЭЭГ и АЭГ, функциональные пробы с открытыми и закрытыми глазами, навязывание вызванных осцилляций с помощью фотостимуляции, раздражения участков кожи показали, что АЭГ, как и ЭЭГ несет в себе информацию о нейрорефлекторной деятельности центральной и вегетативной нервной системы [6].

Разработка технологии регистрации спектра акустоэнцефалограммы «РС АЭГ-01» позволила значительно упростить и улучшить эксплуата-

ционные характеристики съема информации с головы пациента, повысить качество съема информации в низкочастотной области спектральной матрицы для частот ниже 1 Гц.

Технология оказалась эффективной для оценки состояния и влияния внешних факторов на организм человека, изучения патогенеза и диагностики целого ряда патологических состояний. Аппарат проходит доклиническую апробацию для определения адаптационности организма, профотбора спецконтингентов на холодоустойчивость, ранней диагностики заболеваний в гинекологии, офтальмологии, эндокринологии, гастроэнтерологии и кардиологии. В завершении находятся исследования по ранней диагностике и определению стадии развития онкологического заболевания, выявления места локализации опухоли и метастазов [4]. Предлагаемый способ съема информации показал высокие эксплуатационные характеристики и помехозащищенность в сложных условиях эксплуатации.

Результаты исследования. В ходе сотрудничества между НИЦ «Арктика», филиалом ННЦМБ ДВО РАН «Приморский океанариум», «Приморский океанариум» и ДВФУ разработана модификация комплекса для научных исследований морских млекопитающих-белух *Delphinapterus leucas* (Cetacea: Monodontidae).

Работы проводились на научной базе БИММ филиала ННЦМБ ДВО РАН «Приморский океанариум», под руководством тренеров.

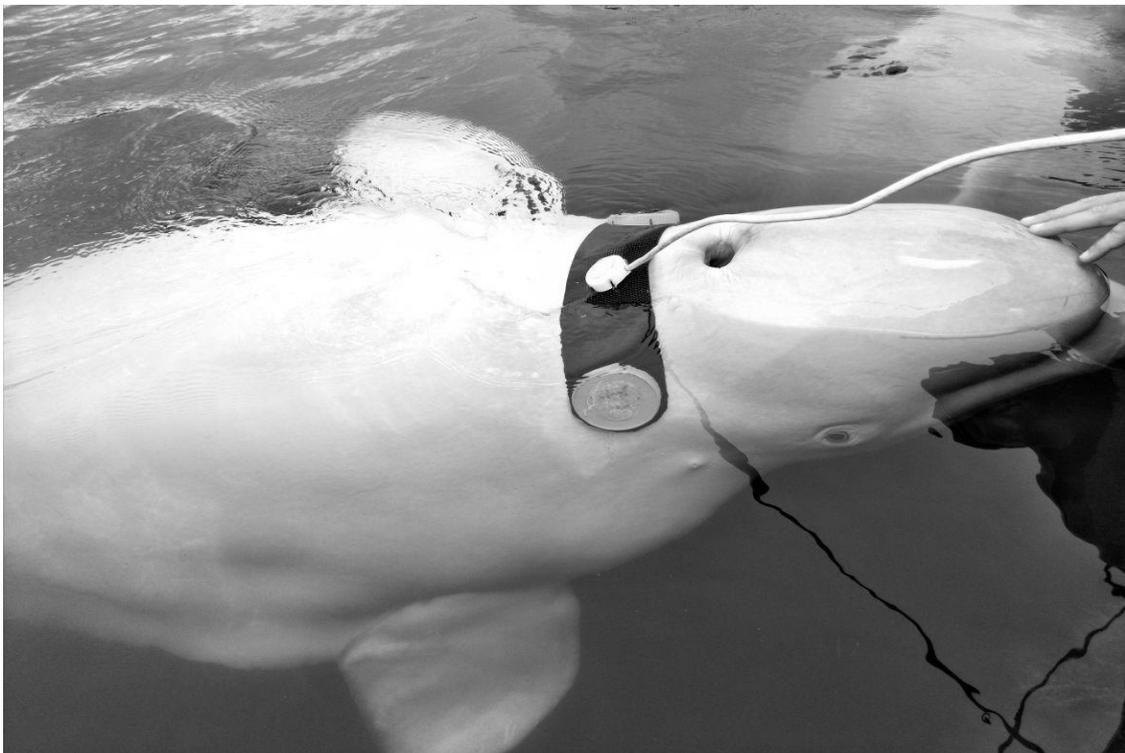


Рисунок 2. Проведение эксперимента с белухой. За дыхалом на белуху брошена лента с вибродатчиками, которые под собственным весом прижимались к проекции левого и правого полушария головного мозга белухи

Получение акустического сигнала с мозга животного производилось с помощью модернизированного комплекса регистратора спектра акустоэнцефалограммы «РС АЭГ-01» для исследования морских млекопитающих – белух. Все составляющие комплекса (пассивные дифференциальные вибродатчики, усилитель и АЦП, компьютер, аккумулятор) были размещены на пирсе, рядом с бассейном. По команде тренера, белуха подходила к пирсу и принимала положение «лежа на воде». Морское млекопитающее находилась на поверхности воды в расслабленном состоянии, слегка подрабатывая плавниками. Голова,melon и дыхало находились выше водной поверхности. Постановка позы животного, возможность контакта с вибродатчиками отрабатывались тренером заранее. Пара индукционных вибродатчиков были закреплены на

прорезиненной ленте, которая набрасывалась на белуху в 5 см за дыхалом и под собственным весом были прижаты к левой и правой частям головы. Вибродатчики и кабель связи с аппаратом были выполнены с гидроизоляцией. Вес датчиков был тщательно подобран. Крепления датчиков на теле белухи не предусматривалось, она могла свободно покинуть место съема информации.

По мере тренировок, поза «лежа на воде» с датчиками не вызывало напряжения и воспринималось белухой как игра. Основная задача была выдержать позу в течении съема одного кадра информации длительностью 160 с. После съема животное уходило под воду и спустя 3-5 мин. возвращалась к месту проведения эксперимента для повторного исследования. За один раз снимались 3 кадра информации по 160 с каждый.

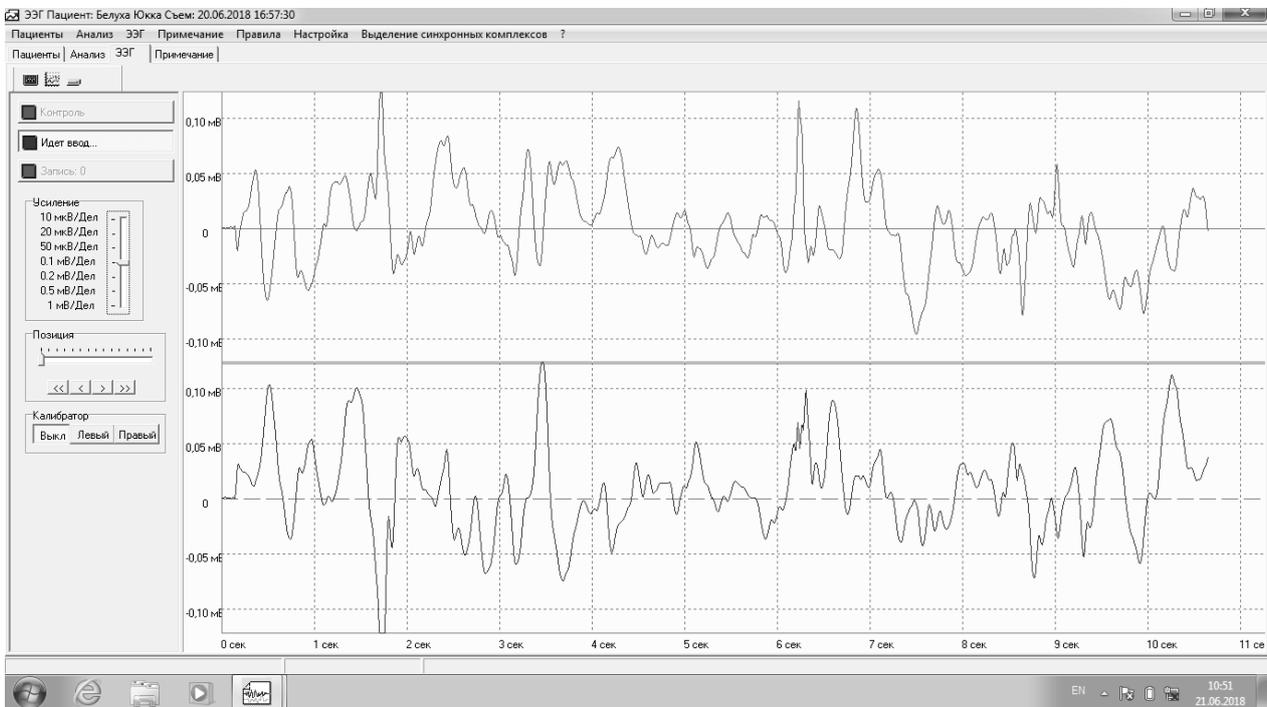


Рисунок 3. Вид акустического сигнала снимаемого с головы белухи. График сверху – правое полушарие, снизу – левое

На рисунке 3 показан фрагмент графика акустического сигнала с монитора компьютера. Предварительно можно отметить, что по амплитуде сигнал с вибродатчиков установленных на белухе примерно в 5 раз больше, чем с головы человека и составляет в среднем 50-100 мкВ. Сигнал с левого полушария закономерно выше, чем с правого. Спектральный анализ показал, что на частотной матрице преобладают следующие частоты: 15-12 Гц; 7.3-6.8 Гц; 5.2-4.5 Гц; 2.7-3.2 Гц; 1.1-1.9 Гц; 0.47- 0.33 Гц.

Выводы. В ходе проведенного экспериментов впервые у белух была отработана технология съема акустоэнцефалограммы в полосе частот от 0.1 до 27 Гц. Подтвердилось правильность выбо-

ра способа регистрации в положении животного «лежа на воде». Подобраны форма, способ крепления и вес датчиков вибраций для съема АЭГ. Так как все работы по получению интегральных индексов и оценки состояния здоровья были выполнены ранее для АЭГ человека, в последующих работах необходимо доказать равенство или подобие получаемых спектральных матриц «висцером» для человека и морских млекопитающих. В работе показана возможность разработки неинвазивного длительного мониторинга степени адаптации белухи к новым условиям содержания, проводимым исследованиям и изучения состояния ее здоровья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кавцевич Н.Н.* Цитохимическое исследование структуры популяции лимфоцитов периферической крови афалин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – В.АК. – С. 1113-1118.
2. *Лямин О.И., Мухаметов Л.М.* Особенности сна китообразных // ЖВНД. – 2013. – Т. 63. – № 1. – С. 61-74.
3. *Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В.* Обнаружение новых акустических сигналов // Акустический журнал. – 2014. – Т. 60. – № 4 – С. 437-442.
4. Патент на изобретение № 2661098 Российская Федерация, МПК⁵¹ А61В 5/05. Способ экспресс-диагностики онкологического заболевания / А.А. Рыбченко, Г.А. Шабанов, А.Л. Максимов, В.Н. Ищенко, С.П. Крыжановский / НИЦ «Арктика» ДВО РАН (RU), Заявка № 2016127302; Приоритет 06.07.2016; опубл. 11.07.2018. Бюл. № 20.
5. Патент на полезную модель № 180056 Российская Федерация, МПК⁵¹ А61В 7/00. Регистратор спектра ритмической активности головного мозга / Г.А. Шабанов, Ю.А. Лебедев, А.А. Рыбченко, С.А. Фейгин, И.А. Зубков / НИЦ «Арктика» ДВО РАН (RU), Заявка № 2017119102; Приоритет 31.05.2017; опубл. 31.05.2018. Бюл. № 16.
6. *Шабанов Г.А., Лебедев Ю.А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л., Короченцев В.И.* Исследование спектра акустического поля головного мозга человека // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2017. – № 3. – С. 115-121.
7. *Cumeras R, Cheung WH, Gulland F, Goley D, Davis CE.* Chemical analysis of whale breath volatiles: a case study for non-invasive field health diagnostics of marine mammals // *Metabolites*. v. 4(3); 2014 Sep; PMC4192693.
8. *Laura A. Thompson, Tracey R. Spoon, Caroline E. C. Goertz, Roderick C. Hobbs, and Tracy A. Romano.* Blow Collection as a Non-Invasive Method for Measuring Cortisol in the Beluga (*Delphinapterus leucas*) // *PLoS One*. 2014; 9(12): e114062.
9. NEC Medical System, Tokyo. *Fuyuko Hashio* (*J. Physiol Sci*, 2010, 60).
10. *Sam Ridgway, Dorian Houser, James Finneran, Don Carder, Mandy Keogh, William Van Bonn, Cynthia Smith, Miriam Scadeng, David Dubowitz, Robert Mattrey, Carl Hoh.* Functional imaging of dolphin brain metabolism and blood flow // *Journal of Experimental Biology* 2006 209: 2902-2910; doi: 10.1242/jeb.02348.
11. *Sharley J.T., Serafetinides E.A., Brooks R.E., Elsner R., Kenney D.W.* *Sleep in Cetaceans: J. The pilot whale, Globicephala scammoni.* *Psychophysiology*. 1969. 6:230.

**DEVELOPMENT OF A MAKE-UP OF THE SENSORS
FOR THE RESEARCH OF THE ACOUSTIC FIELD OF
THE BRAIN OF MARINE MAMMALS**

RYBCHENKO Alexander Alekseevich
Professor, Doctor of Technical Sciences

CHERNENKO Vasily Anatolyevich
Senior Lecturer

BEZRUKIKH Yuliya Vladislavovna
student

SMOLENSKY Egor Viktorovich
student

KRAVCHENKO Mikhail Sergeevich
Student

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Primorsky Krai, Russia

The paper analyzed the methods for assessing the functional state of the body of marine mammals. The purpose of this study was the search for optimal electroacoustic sensors for the removal of acoustoencephalogram and the development of technology for monitoring the functional state and health of the animal, non-invasive retrieval of diagnostic information, which could be carried out repeatedly. For the first time, the method of recording acoustoencephalograms from the beluga's brain was tested. The RS AEG-01 device was upgraded to remove AEG from the head of a marine mammal, allowing you to record a spectrum of rhythms in the range of 0.1-27 Hz with the release of 8400 spectral harmonics and an integration time of 160 s. The scheme of conducting research in the position of a beluga «lying on the water», the method and location of the induction sensors of the acoustic signal were worked out.

Keywords: induction vibration sensor, acoustoencephalogram, acoustic field of the head, electroencephalogram.