

М.П. Иванов¹, Н.Г. Бибиков², Е.В. Мухачев³, Н.А. Данилов³, Б.В. Романов⁴, Б.Ю. Красницкий⁴, В.Е. Стефанов¹

НЕКОТОРЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕГИСТРАЦИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ГИДРОБИОНТОВ

¹*Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9,
Тел.: 89119425478. E-mail: 20mivanov@mail.ru*

²*АО Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева
Россия, 117036 Москва, ул. Шверника, д. 4.
Тел. 89163923263, E-mail: nbibikov1@akin.ru*

³*ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт
прикладных проблем», Санкт-Петербург, 191167. наб. Обводного
канала, 29, Тел. (812)274-31-56,
E-mail: ppb_nti@gosniipp.ru*

⁴*ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского –
природный заповедник РАН», Россия, 298188 Республика Крым,
г. Феодосия, пгт. Курортное, ул. Науки, 24. Тел.: +7-36562-26-512.
E-mail: karadag1914@mail.ru*

Обосновываются требования к аппаратным средствам регистрации сигналов гидробионтов. Показано, что полоса частот сквозного аналогового тракта должна быть не менее 800 кГц, а при регистрации на цифровой носитель минимальная частота квантования 2.5 МГц. Пространственное расположение приемной антенны по отношению к объекту исследования устанавливается в зависимости от вычисленной ближней зоны.

Ключевые слова: ультракороткие импульсы, сигналы дельфинов, сигналы щелкающих креветок, идентификация объекта

Большинство современных систем долговременного акустического мониторинга в открытой воде регистрируют сигналы на цифровой носитель в полосе частот, ограниченной до 20 кГц [1]. Для регистрации сигналов в условиях лабораторного эксперимента используются системы регистрации с полосой частот ограниченной 200 кГц. Однако последние исследования показывают, что биологические системы освещения подводной обстановки (сонар дельфина) и сигналы коммуникации [2], а также системы акустического поражения жертвы (креветки) [3], имеют значительно большую полосу частот излучения, чем 200 кГц.

Если исходить из модели излучателя гидробионтов на основе дельта импульса [4], то полоса частот приемного тракта должна быть бесконечной. При этом, однако, нужно понимать, что, хотя данная модель предполагает излучение дельта-импульса, при его распространении формируется псевдодолговой дельта-импульс, который обеспечивает условия распространения такого сигнала в пространстве (интеграл давления равен нулю). У дельфина формирование сигнала происходит за счет рефлектора (кости черепа) и рефрактора (акустическая линза). У щелкающих креветок распространение сигнала обеспечиваются за счет формирования сложного сигнала: малого по амплитуде низкочастотного колебания и большой амплитуды высокочастотного псевдодельта импульса колоколообразной формы, длительностью $\sim 2.5 \div 3$ мкс (рис. 1).

Приведенный на рисунке 1 импульс был зарегистрированы с помощью аналого-цифрового преобразователя E20-10 (14 p) с частотой квантования 5 МГц и широкополосным гидрофоном TC4014-5 фирмы RESON с резонансом на 480 кГц. Эксперименты по регистрации сигналов, излучаемых *Alpheus dentipes* в акватории Черного моря, показали, что длительность и спектральная плотность мощности значительно отличаются от тех импульсов, которые регистрируются в полосе частот до 50 кГц. Осциллограмма одного из псевдодельта импульсов этой креветки представлена на рисунке 1а. Импульс состоит из низкочастотной составляющей и высокочастотного псевдодельта импульса (рис. 1б), а спектральная плотность мощности импульса занимает частотную полосу до 400 кГц (рис. 1в).

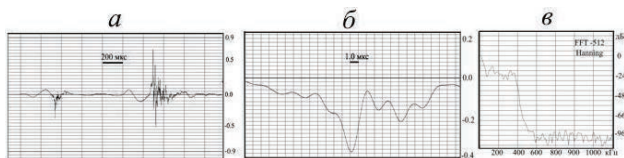


Рис. 1. Осциллограмма одного из псевдодельта импульсов *Alpheus dentipes*.

Сигналы, зарегистрированные во время вербальной реакции (рис. 2) взаимодействия дельфина белухи с видеоизображением на подводном мониторе, имеет совершенно непривычный спектр, максимум которого расположен между 100 кГц и 430 кГц (рис. 2б). Как видно из осциллограммы, импульс имеет малые по амплитуде колебательные составляющие впереди и в конце основного колебания в 1.5 периода (рис. 2а), что и подтверждается формой спектральной плотности мощности (рис. 2б). Основная энергия сконцентрирована внутри основного ши-

рокого лепестка 100 кГц÷430 кГц, причем от нуля до 100 кГц просматриваются две составляющие – на 50 кГц (–36 дБ) и на 70 кГц (–33 дБ). На высоких частотах также выделяются две составляющие – на 500 кГц (–27 дБ) и 700 кГц (–27 дБ). Если попытаться синтезировать импульс, приведенный на осциллограмме (рис. 2) без учета низкочастотных и высокочастотных составляющих спектра, то, несмотря на малый уровень боковых лепестков, полностью синтезировать его не получится.

Приведенный сигнал наглядно показывает, что полоса сквозного тракта регистрации сверхширокополосных сигналов должна составлять величину в 2 раза превышающую частоту основного лепестка спектральной плотности, т.е. в нашем случае $\Delta F = 400 * 2 = 800$ кГц. Так как сигнал импульсный, то минимальная частота квантования должна выбираться из условия $K_{кв.} \geq 4 * \Delta F$.

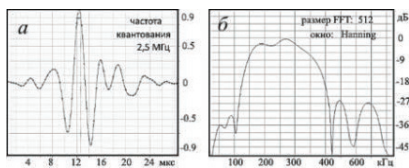


Рис. 2. Осциллограмма сигналов, зарегистрированных во время вербальной реакции дельфина белухи.

Расширение полосы частот сквозного тракта накладывает жесткие условия на весь процесс регистрации сигналов гидробионтов. Для снижения фазовых искажений приемный элемент антенны должен иметь минимальные размеры по отношению к длине волны на высоких частотах, т.е. не больше 2 мм. Необходимо иметь максимально возможную чувствительность приемного элемента антенны, чтобы обеспечить хорошее отношение сигнал/шум. Динамический диапазон усилителя в такой широкой полосе хотелось бы иметь не менее 50–60 дБ и динамический диапазон АЦП 16 разрядов с частотой квантования не менее 2,5 МГц.

Дальность расположения гидрофонов устанавливается в соответствии с формулой определения ближней зоны. Гидрофон устанавливается на расстоянии более $R \geq 2 * D^2 / \lambda$, где D – максимальный линейный размер антенны, λ – длина волны самой высокочастотной составляющих сигнала. Зададимся размером акустической линзы $D = 0.2$ м и $\lambda = 0.002$ м, тогда $R = 40$ м. Конечно, эта величина несколько завышена, но на сколько завышена, определить мы не можем, но попробуем определить нижнюю границу, исходя из эффективного радиуса акустической линзы, из размеров антенны $D = 0.1$, тогда $R = 10$ м. Устанавливая гидрофон на расстоянии 50 м от животного, мы однозначно попадаем в дальнюю зону, а располагать гидрофоны по трассе нужно так, чтобы

при обработке можно было бы точно идентифицировать сигналы других животных от сигналов экспериментального животного [5].

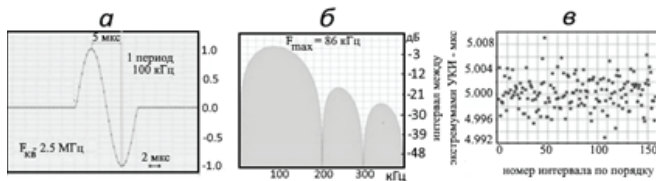


Рис. 3. Спектр тестового биполярного импульса.

Учитывая, что максимум спектра тестового биполярного импульса (рис. 3) в пространстве Фурье смещается в низкочастотную область (рис. 3 б), то при исследовании динамики адаптивных изменений спектрально-временных параметров импульсов излучения, измеряем интервал между экстремумами в реальном масштабе времени (рис. 3 в). Это процедура обеспечит максимально точную настройку на максимум пространственной характеристики поля излучения.

Литература

1. Lis Bittencourt, et al. Mapping cetacean sounds using a passive acoustic monitoring system towed by an autonomous Wave Glider in the Southwestern Atlantic Ocean // <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.10.006>.
2. Иванов М.П., Бутов С.Н., Леонова Л.Е., Романовская Е.В., Стефанов В.Е. Апробация лабораторного макета регистрации сигналов дельфинов с расширенной полосой частот сквозного тракта // 2019. DOI: 10.1134/S0320791919050101.
3. Bibikov N.G., Ovchinnikov O.B., Ivanov M.P., Serebryany A.N. Snapping shrimps sounds in the Black Sea // 2019. <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/001376.pdf>.
4. Aroyan J.L., Cranford T.W., Kent J., and Norris K.S. Computer modeling of acoustic beam formation in *Delphinus delphis*. 1992. DOI: 10.1121/1.404424.
5. Иванов М.П., Мухачев Е.В., Исаков Д.Ю., Данилов Н.А., Овчинников К.Э., Розум А.В., Соколов П.А. Идентификация сигналов дельфина в условиях лабораторного эксперимента в открытой воде. 2018. DOI 10.25960/2500-2538.2018.2.14.

**M.P. Ivanov¹, N.G. Bibikov², E.V. Mukhachev³, N.A. Danilov³,
B.V. Romanov⁴, B.J. Krasnickij⁴, V.E. Stefanov¹**

SOME REQUIREMENTS FOR REGISTRATION AND IDENTIFICATION OF HYDROBIONTS SIGNALS

¹*St. Petersburg State University*

Universitetskaya nab. 7/9, 199034, St. Petersburg, Russia, Tel.: 89119425478,

E-mail: 20mivanov@mail.ru

²*Joint-stock company «Acoustic Institute named after academician*

N.N. Andreyev», Shvernika str. 4, 117036, Moscow, Russia,

Tel.: 89163923263, E-mail: nbibikov1@akin.ru

³*«State Scientific Research Institute of applied problems»*

Obvodny canal emb., 29, 191167, Saint-Petersburg, Russia,

Tel.:(812)274-31-56, E-mail: ppb_nti@gosniipp.ru

⁴*«Karadag Scientific Station named after T.I.Vyazemsky - a natural reserve
of the Russian Academy of Sciences, 298188, Republic Crimea, Feodosia,*

Kurortnoye, Crimea, Russia. Nauki ul., 24, Tel.: +73656226212,

E-mail: karadag1914@mail.ru

The requirements for hardware for registering hydrobiont signals are substantiated. It is shown that the frequency band of the through analog path must be at least 800 kHz, and when registering on digital media, the minimum quantization frequency is 2.5 MHz. The spatial location of the receiving antenna in relation to the object of study is set depending on the calculated near zone.

Keywords: ultrashort pulses, dolphin signals, clicking shrimp signals, object identification

References

1. Lis Bittencourt, et al. Mapping cetacean sounds using a passive acoustic monitoring system towed by an autonomous Wave Glider in the Southwestern Atlantic Ocean, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.10.006>.
2. Ivanov M.P., Butov S.N., Leonova L.E., Romanovskaya E.V., and Stefanov V.E. Testing of a Laboratory Prototype for Recording Dolphin Signals with an Extended Frequency Band of the Through Path. 2019, DOI: 10.1134/S1063771019050105.
3. Bibikov N.G., Ovchinnikov O.B., Ivanov M.P., and Serebryany A.N. Snapping shrimps sounds in the Black Sea. 2019, <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/001376.pdf>.
4. Aroyan J.L., Cranford T.W., Kent J., and Norris K.S. Computer modeling of acoustic beam formation in *Delphinus delphis*. DOI: 10.1121/1.404424.
5. Ivanov M.P., Mukhachev E.V., Isakov D.Yu., Danilov N.A., Ovchinnikov K.E., Rozum A.V., and Sokolov P.A. Identification of dolphin signals in a laboratory experiment in open water. DOI: 10.25960/2500-2538.2018.2.14.