

УДК 504, 57.087, 534.612

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ КОММУНИКАЦИИ МОРСКИХ ЖИВОТНЫХ

Бритенков А.К.¹, Зайцев А.А.², Костеев Д.А.¹, Пахомов М. В.², Пономаренко А.А.^{1, 3},
Салин М.Б.¹, Травин Р.В.¹

¹Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, mikesalin@ipfran.ru

²Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, yanmos@yandex.ru

³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород,
aponomarenko@hse.ru

Ключевые слова: биоакустика, морские млекопитающие, распознавание образов, вокализация серого тюленя, машинное обучение, идентификация акустических сигналов.

Значение Арктики определяется её богатством природными ресурсами и особым географическим положением [1]. Согласно отражённой в документе [2] концепции, предполагается интенсивное развитие судоходства и портовой инфраструктуры региона на всем протяжении Северного морского пути, однако регион может пострадать из-за возрастающего антропогенного воздействия и сопутствующих климатических и экологических изменений. В связи с этим возрастает роль экологического мониторинга Арктической зоны, одним из элементов которого является оценка состояния индикаторов, в частности популяции животных (например, арктических ластоногих) которые как неотъемлемая часть биоты, характеризуют состояние морских экосистем.

В качестве индикатора устойчивого состояния морских экосистем Арктики принято использовать кольчатую нерпу (*Phoca hispida* Schreber, 1775) [3]. В тоже время для побережья Баренцева моря большую роль играет серый тюлень (*Halichoerus grypus* Fabricius, 1791) как самый крупный хищник местных вод (питающийся, в том числе теплокровными животными). Основным методом оценки популяции ластоногих является визуальное наблюдение и пересчёт поголовья, применяя морские суда и авиацию, но невозможность учёта ластоногих, находящихся под водой требует разработки методов, дополняющих существующие.

Серые тюлени используют акустические сигналы для коммуникации, как в воздухе, так и под водой, при этом под водой набор издаваемых животными звуков гораздо сложнее [4]. Диапазон частот издаваемых серыми тюленями звуков, обычно составляют менее 3 кГц, хотя его верхняя граница для звуков типа щелчков может достигать 15-30 кГц. В большинстве звуковых сигналов преобладают низкочастотные составляющие: репертуар тюленя в основном состоит из низкочастотных урчаний (100-500 Гц) и гортанных рыков (100-3000 Гц). Значительно реже серые тюлени издаются щелчки и стуки (3 кГц). Некоторые из издаваемых серыми тюленями звуков похожи на хлопки лапами [5]. Интенсивность издаваемых звуков имеет выраженную сезонную динамику, возрастающую в период щенки и гона [6] и снижающуюся в период нагула. В ряде исследований отмечены индивидуальные особенности в зависимости от места рождения, где происходит вскармливание, ювенальная линька и первичный нагул, когда тюлень обучается «местному диалекту» [6, 7, 8].

Проблемные вопросы методического и аппаратного обеспечения для оценки численности популяции ластоногих на примере серого тюленя возможно поэтапно решать посредством создания банка звуковых сигналов животных как под водой, так и на суше. Методику целесообразно верифицировать совместно с визуальным наблюдением и пересчётом поголовья для распознавания и учёта индивидуальных особенностей звуковых сигналов отдельных животных, включая распознавание и идентификацию в группе.

В отличие от китообразных, для которых существуют обширные базы размеченных сигналов, подготовленных для отладки алгоритмов распознавания, для тюленя, в частности серого, информация представлена более скудно, обычно в виде отдельных записей. Поэтому на первом этапе исследований аудиозаписи серых тюленей в условиях неволи позволяют выделить наиболее характерные спектральные и динамические характеристики звуков, что в свою очередь, может быть использовано на втором этапе для отработки алгоритмов распознавания в условиях полувольного содержания (в качестве примера может быть использован биотехнический аквакомплекс ММБИ РАН в Кольском заливе). Сезонное лежбище дикого серого тюленя в Кольском заливе представляют собой практически идеальный вариант применения методики в условиях дикой природы для автоматизированного анализа аудиозаписей на предмет выделения отдельных сигналов, сравнению, выявлению корреляций с факторами внешней среды и индивидуальными особенностями животных. На третьем этапе на основе выявленных сигнатур акустических сигналов серых тюленей возможна настройка алгоритма машинного обучения, разработанного ранее для обнаружения сигналов морских млекопитающих (северных гладких китов) в звуковом потоке [9].

Для применения данного алгоритма требуется перевести входные данные в пространство признаков. В качестве кандидатов на признаки рассматриваются следующие характеристики: спектральный центроид, спектральный спад, спектральная ширина, скорость пересечения нуля, мел-частотные кепстральные коэффициенты, среднеквадратичное значение энергии и значения коэффициентов хромограммы. Для получения целевого параметра и поиска наиболее значимых признаков сигналов используется алгоритм машинного обучения на основе ансамбля деревьев решений [10].

Список литературы

1. Дынкин, А.А. Международное сотрудничество в Арктике: Риски и возможности / А.А. Дынкин // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Т. 85. – № 5-6. – С. 404-411.
2. Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 "О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года".
3. Мокиевский, В.О. Виды – биологические индикаторы состояния морских арктических экосистем: Экологический атлас морей России / В.О. Мокиевский, А.Б. Цетлин, А.И. Азовский [и др.]. – М.: Фонд «НИР», 2020. – 383 с.
4. Asselin, S. Underwater vocalizations of ice breeding grey seals / S. Asselin, M.O. Hammil, C. Barrette // Can. J. Zool., 1993. – V. 71. – P. 2211-2219.
5. Hocking, D.P. Percussive underwater signaling in wild gray seals / D.P. Hocking, B. Burville, W.M.G. Parker [et al.] // Marine Mamm. Sci., 2020. – V. 36. – No.2. – P. 728-732.

6. Caudron, A.K. Acoustic structure and individual variation of Grey seal (*Halichoerus Grypus*) pup calls / A.K. Caudron, A.A. Kondakov, S.V. Siryanov // J. Mar. Biolog. Assoc., 1998. – V. 78. – P. 651-658.

7. Stansbury, A.L. The role of vocal learning in call acquisition of wild grey seal pups / A.L. Stansbury, V.M. Janik // Philos. Trans. R. Soc. B., 2021. – Vol. 376. – No.1836. – P. 1-6.

8. Stansbury, A.L. Formant modification through vocal production learning in Gray seals / A.L. Stansbury, V.M. Janik // Curr. Biol., 2019. – V. 29. – No. 13. – P. 2244-2249.

9. Salin, M. Marine mammal calls detection in acoustic signals via gradient boosting model / M. Salin, A. Ponomarenko // Proc. of Meet. on Acoust. UACE. – Acoust. Soc. Am., 2021. – V. 44. – No. 1. – P. 01000.

10. Chen, T. Xgboost: A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin // Proc. of the 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. on knowledge discovery and data mining. – 2016. – P. 785-794.

Сведения об авторах

Бритенков Александр Константинович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела акустики океана ИПФ РАН, доцент кафедры радиотехники РФФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Область научных интересов: низкочастотная гидроакустика и электроакустика, акустические измерения, решение неформализованных задач и системный анализ, обработка сигналов, разработка мощных низкочастотных излучающих гидроакустических систем.

Зайцев Александр Александрович – научный сотрудник и в.о. зав. лабораторией морских млекопитающих ММБИ РАН. Область научных интересов: поведение, биология и фаунистические исследования морских млекопитающих; адаптация настоящих тюленей к условиям неволи.

Костеев Костеев Дмитрий Алексеевич – младший научный сотрудник лаборатории виброакустики ИПФ РАН. Область научных интересов: гидроакустика, акустика океана, акустические измерения.

Пахомов М. В. – научный сотрудник лаборатории морских млекопитающих ММБИ РАН. Область научных интересов: анатомия и физиология сенсорных систем морских млекопитающих.

Пономаренко Александр Александрович – к.т.н., научный сотрудник, лаборатории виброакустики ИПФ РАН, научный сотрудник лаборатории алгоритмов и технологий анализа сетевых структур НИУ ВШЭ, старший преподаватель факультета информатики, математики и компьютерных наук НИУ ВШЭ. Область научных интересов: кластеризация данных, машинное обучение, поиск ближайшего соседа, информационный поиск.

Салин Михаил Борисович – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией виброакустики ИПФ РАН. Область научных интересов: гидроакустика, акустика океана, рассеяние звука упругими оболочками, рассеяние звука поверхностным волнением, метод конечных элементов.

Травин Роман Вадимович – студент радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Область научных интересов: радиофизика, гидроакустика, численное моделирование акустических систем.

PROBLEMS OF IMPLEMENTING INSTRUMENTS AND METHODS FOR MARINE ANIMALS COMMUNICATION SIGNALS RESEARCH

Britenkov A.K.¹, Zaycev A.A.², Kosteev D.A.¹, Pakhomov M.V.², Ponomarenko A.A.^{1,3},
Salin M.B.¹, Travin R.V.¹

¹Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia, mikesalin@ipfran.ru

²Murmansk Marine Biological Institute, Murmansk, Russia, yanmos@yandex.ru

³HSE University, Nizhny Novgorod, Russia, aponomarenko@hse.ru

Keywords: bioacoustics, marine mammals, pattern recognition, vocalization of the gray seal, machine learning, identification of acoustic signals.

The report is devoted to the problems of methodological and hardware support for estimating the size of the pinniped population. These pinnipeds, as a part of the biota, can serve as an indicator of the state of the marine ecosystem in the Arctic, which is now under increased anthropogenic impact in the presence of ongoing climatic and environmental changes. The study is carried out on the example of a gray seal, by recognizing and accounting individual sound signals emitted by animals under water and on land. In the course of the study, it is possible to obtain long-term audio recordings of the vocalization of gray seals in the conditions of the oceanarium, then in captive conditions and near the Salny Island, where a haul-out of a wild gray seal was found. It is supposed to perform an automated analysis of audio recordings in order to isolate individual acoustic signals, group them, compare them, and identify correlations with environmental factors and the individual characteristics of each animal under study. Further, based on the identified signatures, it is supposed to adjust the machine learning algorithm for automatic and autonomous recognition of the acoustic signals of gray seals.