



## ИЗУЧЕНИЕ БИОАКУСТИКИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

**Петрова Анна Владимировна**

кандидат биологических наук, доцент биологического факультета, Белорусский государственный университет  
г. Минск, Республика Беларусь

**Иванов Сергей Андреевич**

студент биологического факультета, Белорусский государственный университет  
г. Минск, Республика Беларусь

### Аннотация

В статье представлен развернутый анализ биоакустики морских млекопитающих как междисциплинарного направления, находящегося на стыке биологии, экологии, физики звука и вычислительных наук. Рассматриваются биологические основы звукообразования и восприятия у китообразных и ластоногих, функциональное значение акустической коммуникации в условиях морской среды, а также влияние антропогенных факторов на акустическое поведение. Особое внимание уделяется современным методам регистрации, обработки и интерпретации акустических сигналов, включая пассивный акустический мониторинг и машинное обучение. Показано, что биоакустические исследования являются ключевым инструментом для оценки состояния популяций, изучения пространственно-временной структуры сообществ и разработки мер по сохранению морских млекопитающих.

**Ключевые слова:** биоакустика, морские млекопитающие, китообразные, эхолокация, акустическая коммуникация, пассивный акустический мониторинг

### Введение

Биоакустика морских млекопитающих представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной биологии. Морская среда характеризуется высокой плотностью, значительной протяженностью и ограниченной видимостью, что обуславливает доминирующую роль звука как основного канала передачи информации. В отличие от наземных экосистем, где зрительная и химическая коммуникация играют ведущую роль, в океане акустические сигналы способны распространяться на десятки и даже сотни километров с минимальными потерями энергии. В этих условиях эволюция морских млекопитающих привела к формированию высокоспециализированных механизмов генерации, модуляции и восприятия звука.

Изучение биоакустики позволяет не только описывать поведенческие и физиологические особенности отдельных видов, но и реконструировать сложные экологические процессы, протекающие в морских экосистемах. Акустические сигналы несут информацию о видовой принадлежности, индивидуальных характеристиках, социальном статусе и физиологическом состоянии животных. В последние десятилетия биоакустика приобрела особую значимость в контексте глобальных изменений океанической среды и роста антропогенного шумового загрязнения.

### **Биологические основы звукообразования у морских млекопитающих**

Механизмы звукообразования у морских млекопитающих отличаются высокой степенью специализации и существенно варьируют между таксономическими группами. У китообразных основным источником звука являются структуры дыхательных путей, расположенные в области носовых ходов. Генерация звуков происходит без участия голосовых связок, что является уникальной адаптацией к подводному образу жизни. Воздушные мешки и специализированные жировые структуры обеспечивают эффективную передачу вибраций и формирование направленных акустических сигналов. У зубатых китов эхолокационные щелчки формируются с участием так называемого «мелона» – жирового органа в лобной части головы, который выполняет функцию акустической линзы. Такая система позволяет создавать короткие импульсы высокой частоты и точно направлять их в пространстве. У усатых китов преобладают низкочастотные вокализации, связанные с коммуникацией на больших расстояниях, что соответствует их экологическим стратегиям и пространственной структуре популяций. Ластоногие, включая тюленей и морских львов, сохраняют более традиционный для млекопитающих механизм звукообразования с участием гортани, однако демонстрируют способность к эффективной вокализации как в водной, так и в воздушной среде. Это отражает их амфибийный образ жизни и необходимость коммуникации в различных средах обитания.

### **Функции акустической коммуникации**

Акустическая коммуникация у морских млекопитающих выполняет широкий спектр функций, охватывающих социальное взаимодействие, репродуктивное поведение, ориентацию в пространстве и поиск пищи. Социальные сигналы используются для поддержания структуры групп, координации совместных действий и распознавания особей. У многих видов выявлены индивидуально-специфические вокализации, играющие роль акустических «подписей». Репродуктивные вокализации, особенно характерные для усатых китов, отличаются сложной временной и частотной организацией. Песни горбатых китов являются одним из наиболее известных примеров акустического поведения, обладающего культурной изменчивостью и демонстрирующего элементы социального обучения. Эти сигналы могут распространяться на большие расстояния, обеспечивая эффективную коммуникацию между разрозненными особями.

Эхолокация у зубатых китов представляет собой уникальный пример активного сенсорного восприятия, при котором животное использует собственные акустические сигналы для получения информации об окружающей среде. Анализ отраженных импульсов позволяет определять размер, форму, расстояние и даже внутреннюю структуру объектов, что делает эхолокацию высокоэффективным инструментом навигации и охоты.

## **Методы исследования биоакустики**

Современные исследования биоакустики опираются на широкий спектр технических и аналитических методов. Пассивный акустический мониторинг является одним из ключевых подходов, позволяющих регистрировать звуковую активность животных без прямого вмешательства в их поведение. Использование гидрофонов, размещенных на стационарных платформах, автономных буях или мобильных подводных аппаратах, обеспечивает сбор данных в течение длительных временных интервалов. Обработка акустических данных включает спектральный анализ, временно-частотные преобразования и методы автоматического распознавания сигналов. Развитие вычислительных технологий привело к активному внедрению алгоритмов машинного обучения, способных классифицировать вокализации по видам и типам поведения. Такие подходы существенно повышают эффективность анализа больших массивов данных и открывают новые возможности для мониторинга популяций. Экспериментальные методы, включая воспроизведение звуковых сигналов и контролируемые наблюдения, позволяют изучать реакцию животных на различные акустические стимулы. Однако их применение требует строгого соблюдения этических норм и учета потенциального воздействия на исследуемые объекты.

## **Влияние антропогенного шума на акустическое поведение**

Рост антропогенного шумового загрязнения Мирового океана в последние десятилетия рассматривается как один из наиболее значимых факторов техногенного воздействия на морских млекопитающих. Интенсивное развитие глобального судоходства, расширение добычи углеводородов на шельфе, проведение сейсморазведочных работ, строительство портовой и энергетической инфраструктуры, а также военная активность приводят к устойчивому повышению уровня низко- и среднечастотного шума в морской среде. Особую опасность представляет совпадение частот антропогенных шумов с диапазонами, используемыми китообразными и ластоногими для коммуникации, эхолокации и ориентации.

Маскирование биологических сигналов снижает эффективность акустической связи между особями, нарушает процессы поиска партнёров, координации группового поведения и взаимодействия между матерями и детёнышами.

Экспериментальные и полевые исследования показывают, что воздействие интенсивного шума может вызывать у морских млекопитающих острые стрессовые реакции, проявляющиеся в изменении уровня гормонов, учащении дыхания и резком изменении поведенческих паттернов. В условиях хронического воздействия формируются долгосрочные адаптивные или псевдоадаптивные стратегии, включающие сдвиг частот вокализаций, увеличение их амплитуды, изменение продолжительности сигналов и времени их излучения.

Однако подобные изменения не являются нейтральными с энергетической точки зрения. Повышение акустической активности требует дополнительных энергетических затрат, что может снижать доступные ресурсы для роста, размножения и иммунной защиты. В ряде случаев зафиксированы изменения маршрутов миграций и отказ от традиционных мест обитания, ранее характеризовавшихся высокой биологической продуктивностью. Такие сдвиги пространственного распределения популяций приводят к фрагментации ареалов и повышают уязвимость видов к другим стрессовым факторам, включая дефицит кормовой базы и климатические изменения.

В долгосрочной перспективе антропогенный шум рассматривается как фактор, способный опосредованно влиять на демографические показатели популяций и устойчивость экосистем. Снижение репродуктивного успеха, рост смертности и деградация акустической среды обитания формируют кумулятивный эффект, последствия которого могут проявляться на протяжении нескольких поколений.

### **Биоакустика как инструмент охраны морских млекопитающих**

Биоакустические методы в настоящее время рассматриваются как один из наиболее информативных и экологически щадящих инструментов охраны морских млекопитающих. Пассивный акустический мониторинг позволяет осуществлять длительные и непрерывные наблюдения за животными в условиях, где традиционные визуальные методы ограничены погодными условиями, глубиной или удалённостью районов исследования. Регистрация вокализаций предоставляет данные о присутствии видов, их сезонной активности, суточных ритмах и пространственном распределении.

Акустические данные широко используются для оценки численности и структуры популяций, особенно в отношении редких, скрытных и глубокообитающих видов. Анализ параметров сигналов позволяет идентифицировать виды и в ряде случаев отдельные популяции, что имеет ключевое значение для разработки адресных природоохранных мер. На основе биоакустического мониторинга выделяются зоны повышенной акустической активности, которые часто совпадают с районами кормления, размножения или миграционных коридоров.

Интеграция биоакустических методов с другими источниками информации, включая спутниковое слежение, гидрологические данные и визуальные наблюдения, формирует комплексный междисциплинарный подход к изучению морских экосистем.

Такой синтез данных позволяет более точно оценивать воздействие антропогенных факторов, моделировать сценарии изменения среды обитания и прогнозировать реакции популяций на хозяйственную деятельность человека.

Полученные результаты используются при планировании морских охраняемых территорий, разработке нормативов допустимого шумового воздействия и оценке экологических рисков крупных инфраструктурных проектов. Таким образом, биоакустика выступает не только как исследовательский инструмент, но и как важный элемент системы принятия управленческих решений, направленных на сохранение биоразнообразия и устойчивости морских экосистем.

## **Заключение**

Изучение биоакустики морских млекопитающих представляет собой фундаментально и прикладно значимое направление современной науки. Акустические сигналы являются ключевым элементом жизнедеятельности этих животных и отражают сложное взаимодействие биологических, экологических и физических факторов. Современные методы регистрации и анализа звука открывают новые перспективы для понимания поведения и экологии морских млекопитающих, а также для разработки эффективных мер по их охране в условиях нарастающего антропогенного воздействия.

## **Литература**

1. Au W. W. L. The Sonar of Dolphins. Springer, New York.
2. Clark C. W., Ellison W. T., Southall B. L. et al. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. Marine Ecology Progress Series.
3. Hildebrand J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. Marine Ecology Progress Series.
4. Mellinger D. K., Stafford K. M., Moore S. E. et al. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. Oceanography.
5. Nowacek D. P., Thorne L. H., Johnston D. W., Tyack P. L. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. Mammal Review.
6. Tyack P. L. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. Journal of Mammalogy.