

РЕЦЕНЗИЯ № 1

на статью «РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛУХ *Delphinapterus leucas* В ВОДАХ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА И ОЦЕНКА ЗВУКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ИХ МЕСТООБИТАНИЙ В ЛЕТНЕМ СЕЗОНЕ 2024 г.»

авторского коллектива: Р. А. Беликов, В. В. Краснова, А. В. Шатравин, Е. М. Панова, А. Д. Чернецкий, Е. А. Беликова, Н. В. Крюкова, М. М. Таганова, А. В. Гебрук

Работа посвящена актуальному направлению исследований акустического антропогенного воздействия на морских млекопитающих. В настоящее время этой проблеме уделяется огромное внимание в мире в связи с критическим увеличением хозяйственной деятельности человека в океанах и прибрежных зонах, что приводит к пагубному влиянию на морских обитателей, в том числе из-за интенсивного шумового воздействия. В представленной работе приводятся важные результаты исследований беломорских белух у о. Соловецкий, где расположено их репродуктивное скопление – уникальный природный объект, крайне значимый для стабильного функционирования беломорской популяции. В непосредственной близости от этого места планируется строительство технологического причала. Описываются натурные биологические наблюдения, измерения акустических шумов, выполненные в этом регионе. Полученные результаты подчеркивают важность проведения комплексных исследований акустического воздействия, как на этапе строительства причала, так и при его дальнейшей эксплуатации, с целью минимизации антропогенного воздействия на существующий уникальный природный объект.

Общие замечания по статье:

1. Ключевой элемент для абсолютных измерений уровней шумов – калибровка оборудования, без этого нельзя получить значений SPL в дБ отн 1 мкПа. В тексте говорится, что использовались рекордеры TASCAM в «автоматическом режиме», что может означать динамическое изменение коэффициентов усиления использованных моделей TASCAMов. Просьба пояснить, как вычислялись SPL в дБ отн 1 мкПа по записям с TASCAMов? Здесь лучше перепроверить, чтобы не опубликовать заведомо неверные значения SPL.

2. Нужно указать пороговые значения SPL, при которых происходят поведенческие изменения у белух. Иначе не понятно, 137 дБ – это много для белух или мало? Если авторам известны эти пороги, будет полезно их упомянуть. Может быть, они есть в работах (Southall et al., 2019, Southall et al., 2009). Здесь есть тонкость, нужно учитывать чувствительность слуха белухи, которая зависит от частоты. Например, низкие частоты она может слышать «хуже», как и человек. Поэтому ничего страшного, что низкочастотные шумы более интенсивные. Но это нужно проверить.

3. Вариации плотности мощности шумов в течение суток (строки 314–316, рис. 9), а также резкое уменьшение мощности низкочастотных шумов (рис. 10) может быть связано с приливно-отливными вариациями глубины. Чем больше глубина, тем более низкие частоты могут распространяться в слое воды. Когда глубина уменьшается, низкие частоты отсекаются, остаются только высокие. Когда глубина большая, распространяются все частоты. Для условий эксперимента, насколько я понял из текста, дно можно приближенно считать акустически жестким, тогда оценка частоты, ниже которой звук не будет распространяться $f \sim c / 4H$, $c \sim 1500$ м/с, H – глубина. Такой простейший поход может быть полезен для анализа экспериментальных данных.

4. Строки 23–24 «...основной вклад в акустическое загрязнение исследованных участков вносят шумы ближнего судоходства» – это сильное утверждение не до конца обосновано, лучше перефразировать, «вероятно, судоходство» или «низкочастотный диапазон» без конкретизации типа источника. Если это ближнее судоходство и силовая установка винты, то на записях должны быть видны лопастные гармоники, на приведенных

записях их не видно. Может, дает вклад ветровой шум или сеймика. При плохом развитии событий – это собственные шумы предусилителя гидрофона.

5. Как получен рис. 11 из текста не ясно, нужно пояснить. Что это за «источники высокой интенсивности с характерным временем воздействия в несколько минут» ?

Редакционные (построчные) замечания по тексту статьи (если есть):

1. Рис. 1 – переделать надписи на русский язык для единообразия с последующими рисунками.
2. Рис. 2 – обозначить, где здесь зоны А, А', В, С, условно место строительства причала и основной трафик судов, это сильно поможет понять их относительное расположение и возможное влияние.
3. Таблица 1 – диаметр гидрофонов, добавить размерность мм?
4. Строка 185 – слово «Максимальное» лишнее?
5. Строка 187 – должно быть 12 июля?
6. Рис. 8 – перерисовать, подписи осей должны быть видны.
- 7.

Резюме рецензента: считаю, что направление исследований нужно поддержать, статью рекомендовать к публикации после устранения замечаний.

Подпись. Рецензент № 1. 13.01.2025.

От редакции: рецензия была направлена авторскому коллективу.

Ответ рецензенту № 1 на Рецензию от 13.01.2025 на статью авторского коллектива: Р. А. Беликов, В. В. Краснова, А. В. Шатравин, Е. М. Панова, А. Д. Чернецкий, Е. А. Беликова, Н. В. Крюкова, М. М. Таганова, А. В. Гебрук «РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛУХ *Delphinapterus leucas* В ВОДАХ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА И ОЦЕНКА ЗВУКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ИХ МЕСТООБИТАНИЙ В ЛЕТНЕМ СЕЗОНЕ 2024 г.».

Рецензент: *Ключевой элемент для абсолютных измерений уровней шумов – калибровка оборудования, без этого нельзя получить значений SPL в дБ отн 1 мкПа. В тексте говорится, что использовались рекордеры TASCAM в «автоматическом режиме», что может означать динамическое изменение коэффициентов усиления использованных моделей TASCAMов. Просьба пояснить, как вычислялись SPL в дБ отн 1 мкПа по записям с TASCAMов? Здесь лучше перепроверить, чтобы не опубликовать заведомо неверные значения SPL.*

Автор: Авторы согласны с тем, что фраза об автоматическом режиме записи может ввести читателя в заблуждение. В отредактированной версии статьи мы эту фразу удалили и подробнее описали методику записей. Под использованием рекордеров в «автоматическом режиме» подразумевалась непрерывная автономную запись без непосредственного контроля оператором. Уровень усиления устанавливался оператором в ручном режиме до начала записи и сохранялся постоянным на протяжении всего сеанса записи, автоматическая подстройка уровня усиления под уровень входящего не использовалась.

Рецензент: *Нужно указать пороговые значения SPL, при которых происходят поведенческие изменения у белух. Иначе не понятно, 137 дБ – это много для белух или мало? Если авторам известны эти пороги, будет полезно их упомянуть. Может быть, они есть в работах Southall et al. 2019, Southall et al. 2009. Здесь есть тонкость, нужно учитывать чувствительность слуха белухи, которая зависит от частоты. Например, низкие частоты она может слышать «хуже», как и человек. Поэтому ничего страшного, что низкочастотные шумы более интенсивные. Но это нужно проверить.*

Автор: Благодарим рецензента за это замечание. Отсутствие акцентированного упоминания о порогах влияния связано с тем, что в данной статье не ставилась цель детального (количественного) анализа влияния шума на белух. В акустическом плане задача заключалась в описании текущего фонового уровня, характерного для рассматриваемых зон потенциального воздействия до начала строительства. В плане влияния речь, скорее, шла об общем, теоретическом анализе возможности такого влияния на соловецких белух, с учетом особенностей их местообитаний и истории данной субпопуляции.

В представленной статье (в разделе «Обсуждение») приводится порог поведенческих реакций в 125 дБ отн 1 мкПа для белух залива Кука на Аляске. Кроме того, указали в разделе обсуждения «Звуковые ландшафты Соловецкого залива на исследованных участках» общепринятое пороговое значение SPL для непрерывных (неимпульсных) звуков, при котором происходят поведенческие изменения у белух (120 дБ).

Однако этот вопрос является достаточно сложным и дискуссионным. Считается, что поведенческие реакции у китообразных, включая белух, могут появляться при превышении порога SPL для неимпульсных звуков в 120 дБ отн 1 мкПа. Это общепринятое пороговое значение, которое приводится в обобщающих сводках, программных статьях и различных документах, регламентирующих воздействие шума на морских животных (в том числе Southall et al., 2019, Southall et al., 2009). Мы также считаем, что целесообразно ориентироваться на эту величину порога. Однако, американские авторы исследования в заливе Кука (к настоящему времени это единственная известная нам работа по белухе этой направленности), вынуждены были пользоваться порогом в 125 дБ отн 1 мкПа, из-за повышенной естественной зашумленности изучаемых ими местообитаний. Тем не менее, в своей работе они также ратуют за использование величины в 120 дБ отн 1 мкПа, т. к. увеличение порогов ведет к значительному уменьшению зон безопасности, что выгодно для строительных организаций, но увеличивает риски для животных.

Дискуссионность вопроса о величине порога, превышение которого ведет к негативным изменениям в поведении животных, применительно к белухам и нарвалам (как, впрочем, вероятно, и к некоторым другим видам морских млекопитающих), связана со сведениями о их реакциях на антропогенный шум при минимальном превышении им уровней окружающих шумов (буквально на 3 дБ – шум судов при этом едва слышен) при порогах в 80 дБ отн 1 мкПа и даже ниже. Однако речь в данном случае идет о весьма специфических условиях и животных – о популяциях нарвалов и белух, обитающих в удаленных (и чистых в плане шумового загрязнения) районах высокоширотной Арктики.

По поводу чувствительности слуха белух на разных частотах и возможного влияния этой зависимости на реакции животных. Это очень интересный и, вероятно, еще далеко не до конца исследованный вопрос, ответ на который выходит за рамки данной статьи.

Действительно, считается, что чувствительность слуха у белух ниже (т. е. пороги выше) на низких частотах. Однако специалисты-физиологи неоднократно подчеркивали методические и технические сложности измерения чувствительности слуха у китообразных на низких частотах. Примечательно, что большинство данных для низкочастотного диапазона получено с помощью поведенческих методик, а не с помощью метода вызванных потенциалов. Не исключено, что слух у белух на низких частотах лучше, чем принято считать в настоящее время.

В целом считается, что зона наилучшей чувствительности приходится у белух на диапазон от 30 до 80 кГц. В области максимальной чувствительности слух белух на порядок превосходит человеческий, что обусловлено необходимостью обработки эха от зондирующих импульсов в процессе эхолокации. Пороги чувствительности в этой области у некоторых особей снижаются до 35 дБ отн. 1 мкПа. С другой стороны, из экспериментов известно, что белухи способны слышать звук с частотой, по крайней мере, в 40 Гц при пороге в 140 дБ отн 1 мкПа.

Характеризуя слух, принято выделять так называемую область «функционального слуха». В ряде работ ее у белух ограничивают порогом в 120 дБ отн 1 мкПа, что в низкочастотной области соответствует довольно низкой частоте в 125 Гц. Однако часто под «функциональным» слухом у белух понимают таковой с порогами ниже 80 дБ отн 1 мкПа,

что соответственно ограничивает его частотами в 16 кГц или даже в 22 кГц. Считается, что ниже 8 кГц чувствительность относительно плавно падает приблизительно на 11 дБ на октаву и на 5.6 кГц медианный порог равняется 85,2 дБ отн 1 мкПа (Mooney at al., 2018).

Представление о низкой функциональности слуха белух в звуковом диапазоне, особенно на частотах ниже 10 кГц, выглядит с нашей точки зрения не вполне обоснованным. Дело в том, что в этой области находится если не вся (для ряда сигналов), то, по крайней мере, значительная часть энергии их коммуникативных звуков. Маловероятно, чтобы слух белух не был приспособлен к их восприятию. При всей сложности сравнения слуха человека и белух, по всей видимости, можно говорить об относительно хорошем, т. е. при всех оговорках вполне сопоставимом с человеческим, слухе белух в этом диапазоне (исключая самые низкие частоты – ниже 300–500 Гц).

Таким образом, обладая достаточно функциональным слухом на относительно низких частотах, белухи могут быть подвержены значительному влиянию различных антропогенных шумов. Косвенным свидетельством этого может быть возрастающее число исследований, посвященных этой проблеме (не только у обладающих среднечастотным слухом белух и нарвалов, но и даже у морских свинок, обладающих ультравысокочастотным слухом).

К сожалению, нам неизвестно, насколько протективным может быть понижение чувствительности слуха у белух на низких частотах. При высоких интенсивностях сниженная чувствительность, вероятно, не понизит уровень влияния, если для белух, как и для человека, характерен феномен выравнивания кривых равной громкости при высоких значениях интенсивности. Правда, в случае строительства причала, белухи не должны оказаться в непосредственной близости от источника строительного шума и подвергнуться влиянию шума высокой интенсивности. Однако, есть основания полагать, что, по крайней мере, среднечастотная часть шума ударов сваебойного молота может распространяться на значительное расстояние (многие километры). При относительно невысокой интенсивности шума его влияние за счет снижения чувствительности в низкочастотном диапазоне, вероятно, действительно может быть снижено (звук даже с существенными уровнями будем восприниматься животными как тихий). Однако беспокоит, что имеются сведения о реакции (включая признаки физиологического стресса) у белух и нарвалов на шумы низкой интенсивности (и низкой громкости). Учитывая неопределенность с величиной порога реакции у соловецких белух, а также опираясь на опыт американских коллег, полагаем, что существует серьезный риск значительного антропогенного воздействия на белух, причем в непосредственной близости от их критического местообитания. В этой связи считаем, что до проведения моделирования и прямых измерений шума, а также наблюдений за животными в период его воздействия, оценка потенциального влияния строительного шума должна быть неотъемлемой частью экологического мониторинга строительства технологического причала.

Влияние судового шума также не стоит сбрасывать со счетов. На участках около поселка регулярно происходит превышение общепринятого уровня в 120 дБ отн 1 мкПа, как мы полагаем, из-за проходов судов. Причем мы имеем дело с уровнями в точках приема, уровни рядом с идущим судном еще выше. Источники шума могут находиться в непосредственной близости от животных. Шум может содержать значительную часть энергии в области высоких частот, включая ультразвуковые, где чувствительность слуха белух близка к максимальной.

При дальнейшей работе, проводя количественную оценку влияния антропогенного шума, в соответствии с рекомендацией рецензента, обязательно планируем учитывать особенности слуха белух, взвешивая SPL природного окружающего шума и антропогенных шумов с учетом чувствительности слуха белух на разных частотах.

Рецензент: *Вариации плотности мощности шумов в течение суток (строки 314–316, рис. 9), а также резкое уменьшение мощности низкочастотных шумов (рис. 10) может быть связано с приливно-отливными вариациями глубины. Чем больше глубина, тем более низкие частоты могут распространяться в слое воды. Когда глубина уменьшается, низкие частоты отсекаются, остаются только высокие. Когда глубина большая,*

распространяются все частоты. Для условий эксперимента, насколько я понял из текста, дно можно приближенно считаться акустически жестким, тогда оценка частоты, ниже которой звук не будет распространяться, $-f \sim c / 4H$, $c \sim 1500$ м/с, H – глубина. Такой простейший подход может быть полезен для анализа экспериментальных данных.

Автор: Благодарим рецензента за комментарий и полезный совет. Мы предполагаем, что влияние прилива на графиках SPL могло проявляться только в колебаниях (воображаемой) линии скользящего локального минимума уровней (рис. 10), и этот эффект для наших оценок нельзя назвать существенным. К тому же, повышение SPL в дневное время происходило в высоком (1000–10000 Гц) диапазоне, в целом, синхронно с низкочастотным (100–1000 Гц), а на высокочастотный диапазон в условиях эксперимента (глубины и амплитуда прилива) маловероятно существенное влияние прилива.

Рецензент: *Строки 23–24 «...основной вклад в акустическое загрязнение исследованных участков вносят шумы ближнего судоходства» – это сильное утверждение не до конца обосновано, лучше перефразировать, «вероятно, судоходство» или «низкочастотный диапазон» без конкретизации типа источника. Если это ближнее судоходство и силовая установка винты, то на записях должны быть видны лопастные гармоники, на приведенных записях их не видно. Может, дает вклад ветровой шум или сейсмика. При плохом развитии событий – это собственные шумы предусилителя гидрофона.*

Автор: На приведенных спектрограммах (рис. 9) характерные лопастные гармоники не были видны из-за масштаба низкого временного разрешения иллюстраций. Согласны, что на данном этапе преждевременно категорично утверждать, что все участки повышения SPL в дневное время обусловлены судоходством. К сожалению, подробный анализ или хотя бы просмотр спектрограмм и прослушивание всех участков повышенного SPL в дневное время пока не были проведены (из-за большого объема записей и ограниченных человеческих ресурсов). Мы проанализировали отдельно несколько десятков таких участков, и на всех были либо выражены лопастные гармоники, либо по экспертной оценке (специалистов с большим опытом биоакустических работ) шум на записях был похож на шум от проходов маломерных судов. Кроме того, повышение SPL, вызванное ветровым воздействием, обычно носит плавный характер: уровень поднимается постепенно и остается высоким на протяжении длительных периодов с низким градиентом по времени. В нашем же случае изменчивость SPL в дневное время была, в основном, гораздо более хаотичная: в течение 10–20 минут значение SPL могло повыситься или снизиться на величины в 30–40 дБ.

Насчет сейсмики – не вполне понятно, что имел в виду рецензент. Если речь о сейсморазведке с применением мощных источников, то мы уверены, что в период экспедиции подобных работ в акватории не проводилось.

Рецензент: *Как получен рис. 11 из текста не ясно, нужно пояснить. Что это за «источники высокой интенсивности с характерным временем воздействия в несколько минут»?*

Автор: В отредактированной версии более точно описана процедура построения суточного хода, показанного на рис. 11. Источники высокой интенсивности – по нашему предположению, суда (см. комментарий к п. 4).

Рецензент: *Редакционные (построчные) замечания по тексту статьи (если есть):*

1. *Рис. 1 – переделать надписи на русский язык для единообразия с последующими рисунками.*

Автор: Рисунок 1 переделали полностью, объединив Рис. 1 и Рис. 2.

Рецензент: 2. *Рис. 2 – обозначить где здесь зоны А, А', В, С, условно место строительства причала и основной трафик судов, это сильно поможет понять их относительное расположение и возможное влияние.*

Автор: Рис. 2 объединили с Рис. 1. Участки А, А', В, С находятся в репродуктивном скоплении белух у м. Белужий приблизительно в 12 км от места строительства причала (в 10–11 км по геодезической прямой). Участки «Филипповский» (место строительства причала), «Варлаама» и «Игуменский» находятся в Соловецком заливе в непосредственной близости от п. Соловецкий.

Рецензент: 3. *Таблица 1 – диаметр гидрофонов, добавить размерность мм?*

Автор: Добавили размерность.

Рецензент: 4. *Строка 185 – слово «Максимальное» лишнее?*

Автор: Нет, речь идет именно о максимальной численности животных за день. Это максимальная величина по всем временным срезам за день. Далее приводится среднее значение этих дневных максимумов за сезон наблюдений.

Рецензент: 5. *Строка 187 – должно быть 12 июля?*

Автор: Действительно, на графике ошибка. График в рецензируемой версии по каким-то причинам отличается от того, что был в высланной нами в редакцию версии. Заменяли график на правильный.

Рецензент: 6. *Рис. 8 – перерисовать, подписи осей должны быть видны.*

Автор: Перерисовали.

Искренне благодарим рецензента за сделанные замечания и советы.

С уважением, авторский коллектив. 11.02.2025

От редакции: ответ и доработанная версия статьи были направлены редакцией рецензенту.

Подтверждение Рецензента № 1 на публикацию:

Добрый день, коллеги!

С интересом прочитал ответы на замечания, вполне удовлетворен ими и правками в тексте.

Считаю, можно рекомендовать к публикации.

Два момента, которые могут быть полезны, изложил в прикрепленном файле.

Подпись. Рецензент № 1. 27.02.2025.

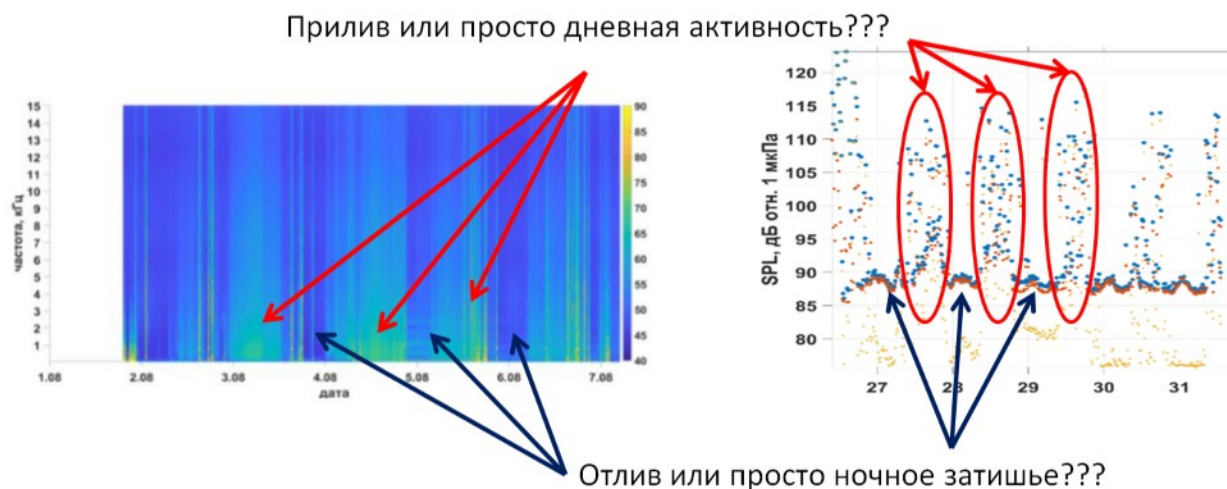
От редакции: «Уточнения к ответу авторов статьи «Результаты исследований белух *Delphinapterus leucas* в водах соловецкого архипелага и оценка звуковых ландшафтов их местообитаний в летнем сезоне 2024 г.»

С интересом прочитал ответ авторов, даны вполне исчерпывающие пояснения, внесенные в текст правки позволяют рекомендовать работу к публикации.

Желательно уточнить два места в тексте:

1). В строке 376 имеет смысл явно указать, что возможным источником подобного воздействия могут быть маломерные, высокоскоростные суда. Предполагаю, что туристов именно на таких и возят. Дело в том, что при прочтении возникает ощущение, что речь идет о крупнотоннажных судах, которые формируют основной трафик судоходства и для которых строят причал, но они явно не относятся к источникам «высокой интенсивности с характерным временем воздействия, не превосходящим десятки минут».

2). Сейчас суточные вариации уровней подводного шума, столь хорошо наблюдаемые на рис. 8 и 9 (в новой нумерации), объясняются в тексте просто – высокая антропогенная активность днем и ее отсутствие ночью.



Правильно ли я понял, что нет корреляции между суточными изменениями уровней подводных шумов и приливо-отливными явлениями?

Базы данных по приливам известны, такое сопоставление должно просто выполняться.

Если корреляция есть, то это полезный результат, который может использоваться в дальнейшем. Например, при разработке рекомендации для снижения антропогенного воздействия при строительстве причала.

С уважением, рецензент.

От редакции: Подтверждение и уточнения по вопросам рецензента были направлены редакцией авторскому коллективу. Повторное рецензирование не требуется.