РЕЦЕНЗИЯ № 1

на статью **«ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПОДВОДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ШУМА ПРИ ПОГРУЖЕНИИ СВАЙ НА АКВАТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО ЗАЛИВА В БЕЛОМ МОРЕ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА И ЕГО ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ»**
авторского коллектива: **А. А. Луньков, Р. А. Беликов, А. В. Шатравин, А. Д. Чернецкий, Е. А. Беликова, О. Ю. Кочетов, О. Б. Овчинников**

Этап № 1.

Статья посвящена оценке влияния на морских млекопитающих гидроакустического шума в диапазоне 63–2000 Гц, вызванного погружением (забивкой) свай при строительстве причалов в акватории Соловецкого залива. Насколько мне известно, впервые для данного региона получены результаты широкополосного моделирования распространения гидроакустических сигналов с учетом реальной батиметрии, позволившие оценить 2D карты уровней давления от источника с измеренным спектром излучения. На основе полученные оценок авторы делают выводы о преимуществах метода вибропогружения свай по сравнению с использованием гидравлического молота. Работа будет интересна читателям журнала «Океанологические исследования». Нужно подчеркнуть важность работы авторов, они внятно демонстрируют необходимость проведения ПАМ на регулярной основе в уникальном природном заповеднике Соловецкого архипелага.

Общие замечания по статье:

1. Вибропогружение сразу же приводит к вопросу оценки уровней виброакустического шума. Этого в работе не сделано. Сейсмические волны, возбуждаемые при «погружении» свай, могут распространяться и давать влияние на значительных расстояниях, даже через отмели и сушу. Вопрос сложный и неоднозначный, желательны более аккуратные формулировки с конкретикой частотного диапазона и типа акустических волн. Следует убрать категорические утверждения типа «… можно **констатировать полное отсутствие** влияния шумов вибропогружения свай на соловецких белух… », «… мелководность и сложная батиметрия прибрежной акватории делают прямое воздействия шума погружения свай при строительстве причалов на соловецкое репродуктивное скопление белух **невозможным**» и т.д.

Другой, не затронутый в статье аспект, – воздействие не давления, а градиента давления (колебательной скорости). Млекопитающие чувствительны к этой характеристике акустического поля.

Не стоит забывать, что подводный акустический шум многогранен, формулировки в статье о «подводном шуме» имеет смысл скорректировать. По возможности, конкретизируйте, какой тип подводного шума имеется в виду.

Может быть, в будущих исследованиях стоит использовать донные сейсмометры и векторные приемники.

2. Отсутствует оценка точности результатов моделирования. Реальный рельеф учтен с какой-то точностью. Эффективные параметры дна выбраны весьма произвольно, но влияют существенно, судя по рис. 6а. Как дисперсия этих параметров влияет на дисперсию оценок SPL? Что-то нужно сказать о точности, которую гарантируют авторы, приводя рис. 8, 10, 11, и формулируя на основе них выводы.

3. Помимо SPL, стандартным является расчет SEL. Вибровоздействие, насколько я понял, – это продолжительный по времени, непрерывный процесс. Расчет для него SEL представляется естественным. Если нет, то желательно пояснить причины. На рис. 2, средняя панель, указан SEL, похоже авторы все-таки начинали эти расчеты.

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

1. *Стр. 21:* вместо «неровностей батиметрии» лучше «особенности батиметрии», или «неровности рельефа дна».
2. *Стр. 26:* «в других направления», …направлениях.
3. Подписи рисунков, наверное, должны быть на русском (рис. 1, 2, 4 и т. д.).
4. *Стр. 134–134*: желательно привести значения этих обратных периодов для обоих способов погружения свай.
5. *Стр. 219–220*: какая в % доля энергии в указанной полосе?
6. Привести данные в таблицах 2 и 3 к одному расстоянию, чтобы можно было сравнить между собой. Пояснить способ приведения.
7. Почему в таблицах 2 и 3 данные только до 315 Гц? Учитываются же до 2 кГц. Имеет смысл привести один график с уровнями двух методов погружения свай.
8. Авторам пора учитывать частотную зависимость «слухового аппарата» морских млекопитающих. Это делается элементарно, в формуле после строки 252 вводятся весовые коэффициенты у слагаемых.
9. *Стр. 316*. После параболического моделирования и одномодового режима неожиданно возникает «однолучевая структура». Предварительные пояснения, о чем идет речь, помогут читателю.

Резюме рецензента: статью рекомендую принять после устранения замечаний.

Подпись. Рецензент № 1. 16.03.2026.

От редакции: рецензия была направлена авторскому коллективу.

Ответ рецензенту № 1 на рецензию от 16.03.2026 на статью авторского коллектива: А. А. Луньков, Р. А. Беликов, А. В. Шатравин, А. Д. Чернецкий, Е. А. Беликова, О. Ю. Кочетов, О. Б. Овчинников «ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПОДВОДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ШУМА ПРИ ПОГРУЖЕНИИ СВАЙ НА АКВАТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО ЗАЛИВА В БЕЛОМ МОРЕ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА И ЕГО ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ».

Авторы статьи благодарны рецензенту за ценные комментарии и рекомендации. Большая часть замечаний учтена в доработанном тексте.

Ответы на общие замечания:

Рецензент: *1. Вибропогружение сразу же приводит к вопросу оценки уровней виброакустического шума. Этого в работе не сделано.*

Ответ: Оценка влияния на морских млекопитающих виброакустического шума, т.е., фактически, вибраций дна, не входила в задачи данного исследования. Большинство известных работ посвящены оценке влияния на животных именно акустического шума. Вибрации при погружении свай в основном являются предметом исследования в работах, посвященных оценке их влияния на соседние здания и сооружения либо влияния на структуру грунта в районе погружения. Также следует отметить, что при расчётах с помощью программы RAMs помимо продольных волн автоматически учитываются сдвиговые волны в дне и поверхностные волны Шольте на границе вода/дно (виброакустические волны).

Рецензент: *Сейсмические волны, возбуждаемые при «погружении» свай, могут распространяться и давать влияние на значительных расстояниях даже через отмели и сушу. Вопрос сложный и неоднозначный, желательны более аккуратные формулировки с конкретикой частотного диапазона и типа акустических волн.*

Ответ: Вопрос действительно сложный и неоднозначный. Однако, нам не встречались работы, связанные с оценкой влияния погружения свай на морских млекопитающих, где бы говорилось о возможности распространения вибраций на **значительные** расстояния. Обычно речь идет о десятках и в самых сложных случаях первых сотнях метров.

Рецензент: *Следует убрать категорические утверждения типа «… можно **констатировать полное отсутствие** влияния шумов вибропогружения свай на соловецких белух…», «…мелководность и сложная батиметрия прибрежной акватории делают прямое воздействия шума погружения свай при строительстве причалов на соловецкое репродуктивное скопление белух **невозможным**.» и т.д.*

Ответ: Спасибо за данное замечание. По всей видимости, упомянутая категоричность, действительно, излишня. Формулировки были смягчены.

Рецензент: *Другой, не затронутый в статье аспект, – воздействие не давления, а градиента давления (колебательной скорости). Млекопитающие чувствительны к этой характеристике акустического поля.*

Ответ: Необходимо будет более подробно рассмотреть этот аспект в будущем. На данном этапе существует ряд причин не включать исследования колебательной скорости:

1) в отличие от рыб морские млекопитающие преимущественно реагируют на звуковое давление,

2) не установлены пороговые уровни для колебательной скорости,

3) в большинстве случаев возможен прямой пересчёт звукового давления в колебательную скорость, зная импеданс воды.

Рецензент: *Не стоит забывать, что подводный акустический шум многогранен, формулировки в статье о «подводном шуме» имеет смысл скорректировать. По возможности, конкретизируйте, какой тип подводного шума имеется в виду.*

Ответ: В настоящей работе проводится анализ подводного акустического шума антропогенного происхождения.

Рецензент: *Может быть, в будущих исследованиях стоит использовать донные сейсмометры и векторные приемники.*

Ответ: Спасибо за совет. Было бы интересно применить сейсмометры для регистрации вибраций и векторные приемники для оценки уровней колебательной скорости и направления прихода шума.

Рецензент: *Отсутствует оценка точности результатов моделирования. Реальный рельеф учтен с какой-то точностью. Эффективные параметры дна выбраны весьма произвольно, но влияют существенно, судя по рис. 6а. Как дисперсия этих параметров влияет на дисперсию оценок SPL? Что-то нужно сказать о точности, которую гарантируют авторы, приводя рис. 8, 10, 11, и формулируя на основе них выводы.*

Ответ: Точность результатов моделирования определяется с одной стороны самой расчётной схемой, с другой стороны – теми параметрами среды, которые введены в модель. Причём со вторым связана наибольшая неопределённость. В нашей модели параметры среды выбирались насколько это возможно соответствующими рассматриваемой акватории. Карта глубин задавалась в отдельных точках с точностью до десятой доли метра, потом проводилась интерполяция этих данных. Параметры дна брались исходя из геологического строения и состава верхнего слоя грунта, однако их пространственная изменчивость не учитывалась ввиду отсутствия таких данных.

Оценка точности результатов моделирования может быть проведена только путём сравнения с экспериментальными данными. К сожалению, пока что мы не имеем записей шума вибропогружения свай вдоль всего судоходного канала – это запланировано на следующем этапе работы. Имеются записи только на расстоянии до нескольких сотен метров от точки погружения. Отметим, что экспериментальное значение *SEL* 181 дБ отн. 1 мкПа2с на расстоянии 100 м (указано на рис. 2 в статье) удовлетворительно согласуется с результатами моделирования – 178 дБ отн. 1 мкПа2с.

Рецензент: *Помимо SPL, стандартным является расчет SEL. Вибровоздействие, насколько я понял, – это продолжительный по времени, непрерывный процесс. Расчет для него SEL представляется естественным. Если нет, то желательно пояснить причины.*

На рис. 2, средняя панель, указан SEL, похоже авторы все-таки начинали эти расчеты.

Ответ: Замечание по поводу *SEL* имеет справедливое основание. Действительно, на основе натурных записей шумов вибропогружения были сделаны предварительные оценки *SEL* для ограниченного числа случаев погружения свай, что позволяет в целом оценить

соответствие регистрируемых в данной работе шумов и данных из литературных источников. Планируется отдельная публикация на основе натурных данных мониторинга строительных работ по погружению свай в грунт. В ней должен быть приведен подробный анализ временной организации процесса погружения свай и соответственно оценка влияния шума на животных с учетом продолжительности экспозиции и характера распределения шума во времени.

Ответ на редакционные замечания:

Рецензент: *1. Стр. 21: вместо «неровностей батиметрии» лучше «особенности батиметрии», или «неровности рельефа дна».*

Ответ: Исправлено на «неровности рельефа дна».

Рецензент: *2. Стр. 2: «в других направления», …направлениях.*

Ответ: Исправлено.

Рецензент: *3. Подписи рисунков, наверное, должны быть на русском (рис. 1, 2, 4 и т. д.).*

Ответ: Исправлено.

Рецензент: *4. Строки 134–134, желательно привести значения этих обратных периодов для обоих способов погружения свай.*

Ответ: Приведены для вибропогружения. В случае забивки свай следуют одиночные удары с периодом до нескольких секунд, поэтому в частотной области (при ширине окна 1 с) периодическая структура с пиками не наблюдается.

Рецензент: *5. Строки 219–220, какая в % доля энергии в указанной полосе?*

Ответ: Добавлено. Доля энергии в полосе 63-2000 Гц составляет 99.8 %.

Рецензент: *6. Привести данные в таблицах 2 и 3 к одному расстоянию, чтобы можно было сравнить между собой. Пояснить способ приведения.*

Ответ: Добавлена таблица 4, где указаны уровни шума при забивке сваи молотом на расстоянии 16 м. Приведение относительно таблицы 3 осуществлено по сферическому закону спадания. Следует отметить, что при численном моделировании нормировка уровней на соответствующих расстояниях осуществлялась согласно таблицам 2 и 3.

Рецензент: *7. Почему в таблицах 2 и 3 данные только до 315 Гц? Учитываются же до 2 кГц. Имеет смысл привести один график с уровнями двух методов погружения свай.*

Ответ: В таблицах 2 и 3 данные разделены на две строчки: первая строчка заканчивается 315 Гц, вторая – 2000 Гц.

Рецензент: *8. Авторам пора учитывать частотную зависимость «слухового аппарата» морских млекопитающих. Это делается элементарно, в формуле после строки 252 вводятся весовые коэффициенты у слагаемых.*

Ответ: Авторы согласны с уважаемым рецензентом, что это должна быть более информативная метрика для конкретных видов морских млекопитающих, чем уровни без взвешивания. Однако в случае взвешивания остаётся открытым вопрос о пороговых уровнях (уже в каких-то других дБ), которые не установлены и на которые надо ориентироваться. В нашем случае учет особенностей слуха приведет к еще большему уменьшению опасных радиусов, т. к. и белухи, и настоящие тюлени обладают высокочастотным подводным слухом, с относительно слабой чувствительностью на низких частотах.

Рецензент: *9. Стр. 316. После параболического моделирования и одномодового режима неожиданно возникает «однолучевая структура». Предварительные пояснения, о чем идет речь, помогут читателю.*

Ответ: Заменено на «узконаправленная». При упоминании «однолучевой структуры» имеются в виду не устоявшиеся термины из физики по распространению звука, а результаты чисто визуального восприятии характера распространения звука по исследуемой акватории, где выделяется одно основное направление дальнего распространения – вдоль судового хода.

С уважением, авторы

02.06.2026.

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

Этап № 2.

Авторы внесли правки, графический материал преобразился в лучшую сторону, но некоторые изменения в тексте и комментарии в ответе авторов требуют дополнительного внимания.

Общие замечания по статье:

Ответ авторов: *1. Оценка влияния на морских млекопитающих виброакустического шума, т. е., фактически, вибраций дна, не входила в задачи данного исследования.*

Насколько я понял из ответа авторов « ... при расчётах с помощью программы RAMs помимо продольных волн автоматически учитываются сдвиговые волны в дне и поверхностные волны Шольте на границе вода/дно (виброакустические волны)».

То есть авторы на самом деле все сделали, учли полное сейсмо- и гидроакустическое поле. Этот вопрос снимается. Может быть, в тексте краткой фразой это подчеркнуть.

Ответ авторов: *Однако, нам не встречались работы, связанные с оценкой влияния погружения свай на морских млекопитающих, где бы говорилось о возможности распространения вибраций на значительные расстояния.*

Вот это уже странно. Работ, где бы говорилось о возможности распространения сейсмоакустических сигналов на значительные расстояния, более чем достаточно. На рис. 6 самих же авторов демонстрируется, что на расстояниях больших 1000 м «… акустические волны могут проникать из водного слоя в дно и обратно».

Ответ авторов: *в большинстве случаев возможен прямой пересчёт звукового давления в колебательную скорость*

В общем случае такой пересчет НЕвозможен, особенно в условиях мелкой воды. Есть лишь частные случаи, когда пересчет через импеданс корректен. Наиболее часто используют аппроксимацию по одновременным измерениям разнесенными гидрофонами, но это приближение. Это лишь пояснения к ответам, на общую положительную оценку работы они не влияют.

Ответ авторов: *2. Оценка точности результатов моделирования может быть проведена только путём сравнения с экспериментальными данными. К сожалению, пока что мы не имеем записей шума вибропогружения свай вдоль всего судоходного канала – это запланировано на следующем этапе работы.*

Моделирование, на основе которого делаются все выводы работы, – ключевой момент.

Сейчас выбор геоакустических параметров модели (скорости волн, их поглощение, плотности, зависимости от глубины) по большому счету, не обоснован и все это носит предварительный характер.

Сейчас, ни много ни мало, авторы постулируют геоакустическую модель Соловецкого залива на основе каких-то «геологических данных, согласно которым дно является каменистым» (без ссылок), берут параметры из американского учебника по

вычислительной гидроакустике (не понятно, как эти данные относятся к Соловецкому заливу) и на девяти страницах анализируют результаты моделирования.

Хоть что-то нужно сказать о точности, которую гарантируют авторы.

Например, что основную роль играет рельеф, а он известен с высокой точностью. Если это действительно так.

Имеет смысл написать абзац, поясняющий позицию авторов по этому поводу, отметив возможные перспективы уточнения текущих результатов. Понятно, что подробный анализ вне рамок работы.

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

Ответ авторов: *6. Добавлена таблица 4*

Не нужно. Двух таблиц с одним расстоянием более чем достаточно.

По результатам численного моделирования 16 метров для двух источников.

Модель среды одна, расстояния такие же, но источники разные – можно сравнить.

Не нужно сферического закона, вызовет только дополнительные вопросы.

Резюме рецензента: статью рекомендую принять после устранения замечаний. Без повторного отзыва.

Подпись. Рецензент № 1. 05.06.2026.

От редакции: повторная рецензия была направлена авторскому коллективу.

От редакции: получена финальная версия статьи. Повторное рецензирование не требуется. 15.06.2026.