

Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 661—673.

Hydrometeorology and Ecology. 2024;(77):661—673.

ОКЕАНОЛОГИЯ

Научная статья

УДК [504.6:629.12](571.63-25)

doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-661-673

Экспериментальные исследования шумовых характеристик судов в акватории порта Владивосток

***Сергей Владимирович Горовой^{1, 2}, Алексей Валерьевич Кирьянов¹,
Яна Юрьевна Блиновская¹, Алексей Анатольевич Борейко³,
Даниил Александрович Пестов¹***

¹ ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия, kirianov.av@dvvfu.ru

² ФГБУН «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН», г. Владивосток, Россия

³ ФГБУН «Институт проблем морских технологий ДВО РАН», г. Владивосток, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема разработки и применения технических средств мониторинга шумового загрязнения морских акваторий вблизи крупных портов. Инструментальные исследования акустического воздействия с помощью оригинального оборудования и анализ полученных статистических данных показали, что основными источниками шума в порту Владивосток являются контейнеровозы и балкеры. Измерение шумовых характеристик в натурных условиях на якорных стоянках показало применимость использования разработанной аппаратуры. Показано, что полученные результаты могут быть использованы для формирования банка данных характеристик подводных шумов, проведения оценки воздействия на состояние окружающей среды и здоровье человека, а также разработки мероприятий по снижению негативного воздействия от шумовых полей.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, экологический мониторинг, гидроакустика, морская среда, судоходство, морской порт.

Для цитирования: Горовой С. В., Кирьянов А. В., Блиновская Я. Ю. и др. Экспериментальные исследования шумовых характеристик судов в акватории порта Владивосток / С. В. Горовой, А. В. Кирьянов, Я. Ю. Блиновская, А. А. Борейко, Д. А. Пестов // Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 661—673. doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-661-673.

Original article

Experimental studies of the noise characteristics of ships in the waters of the port of Vladivostok

**Sergey V. Gorovoy^{1,2}, Alexey V. Kiryanov¹, Yana Yu. Blinovskaya¹,
Alexey A. Boreyko³, Daniil A. Pestov¹**

¹ FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Vladivostok, Russia

² FGBUN «Ilyichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS», Vladivostok, Russia

³ FGBUN «Institute of the Marine Technology Problems FEB RAS», Vladivostok, Russia

Summary. The environmental impact of anthropogenic activities has become global and often irreversible. Moreover, some types of pollution are very often underestimated due to their specific manifestation. This is noise. Sources of anthropogenic noise in the oceans include marine cargo transportation, fishing activities, the search, development and operation of offshore mineral resources, energy generation facilities (wind and tidal power plants). Noise on ships is generated by engines, propellers, onboard equipment. The solution to this problem is impossible without the use of an integrated approach, which includes monitoring of marine noise at different stages of the technological process, the acoustic database from different sources on different work conditions, the development of technical monitoring tools, as well as standardized methods that make it possible to obtain reliable data on anthropogenic noise in the sea. The main objective of the experimental studies was to test the registration of hydroacoustic signals perceived by vertically spaced non-directional hydrophones near the route along which sea vessels enter/exit the Vladivostok port water area and assess the time dependence of the spectral and statistical characteristics of the registered signals, including when ships passage. Analysis of the signals obtained using a 4-element vertical antenna array from pressure hydrophones with sensitivity of $300 \pm 30 \mu\text{V}/\text{Pa}$ in the frequency range of $1 \approx 5000 \text{ Hz}$ and electric capacitances of $6 \pm 0.5 \text{ nF}$ shows that the dependence of the levels of the signals perceived by the hydrophones on the distance between the container ship and the receiving antenna is not described by a spherical or cylindrical law. It has been established that the main part of noise emission is concentrated at frequencies up to $400\text{—}1000 \text{ Hz}$, which is due to wave effects during signal propagation in shallow sea conditions. As the speed of the vessel increases, there is an increase in noise emission energy in the higher frequencies due to the propeller operation. The results obtained indicate the applicability of the developed antenna array for monitoring shipping noise and can be used in the development of recommendations for reducing acoustic exposure, implemented as part of the activities of the IMO program subcommittee to prevent and reduce underwater noise from ships.

Keywords: noise pollution, environmental monitoring, hydroacoustic, marine environment, shipping, seaport.

For citation: Gorovoy S. V., Kiryanov A. V., Blinovskaya Y. Yu., et al. Experimental studies of the noise characteristics of ships in the waters of the port of Vladivostok. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2024;(77):661—673. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-661-673.

Введение

Воздействие антропогенной деятельности на окружающую среду приобрело глобальный и часто необратимый характер. При этом некоторые виды загрязнения очень часто недооцениваются в силу их специфичного проявления. Таковым является шум. Звуковой фон в урбанизированных районах ежегодно увеличивается на $0,5\text{—}1 \text{ дБ}$, что создает существенные социальные и экологические угрозы для

населения [1]. Данная проблема также существует в пределах морских акваторий, например, при осуществлении судоходства, где источник загрязнения и объекты воздействия находятся в тесной связи друг с другом. Безусловно, она пока менее яркая по сравнению с разливами нефти и нефтепродуктов или образованием отходов, в том числе пластиковых, но, учитывая масштабы научно-технического прогресса, развитие навигации и рост грузооборота уже сейчас требуется поиск решений, способных нивелировать негативное воздействие шума как на здоровье человека, так и на представителей морских экосистем. Распространение акустических волн имеет особую специфику в морской воде, и их негативное влияние на живую среду не вызывает сомнения. Так, для большинства рыбопромысловых судов спектр гидроакустических шумов находится в диапазоне от единиц герц до нескольких килогерц, а максимальный спектральный уровень шума наблюдается на частотах до 500 Гц [2]. При этом у рыб диапазон воспринимаемых частот составляет 0,1—2000 Гц, а максимальная слуховая чувствительность у большинства видов наблюдается на частоте 20—500 Гц [3, 4].

К источникам антропогенного шума в Мировом океане относятся морские грузоперевозки, рыбопромысловая деятельность, поиск, разработка и эксплуатация морских месторождений полезных ископаемых, объекты энергогенерации (ветро- и приливно-отливные электростанции). При этом наиболее масштабными являются различные типы судов. Шумы на судах генерируют двигатели, гребные винты, бортовое оборудование. Помимо этого, шумы формируются при движении судна за счет обтекания корпуса водой при движении или при волновом воздействии во время стоянки, а также во время иной деятельности, осуществляемой на судне. Также шумы генерируются в ходе естественных природных процессов, что также успешно моделируется [5] и может быть учтено при оценке антропогенных шумов.

Понимая все нежелательные последствия, связанные с акустическим воздействием, Международная морская организация (ИМО, International Maritime Organization, IMO) еще в 2008 г. утвердила программу по разработке рекомендаций по снижению шумности коммерческих судов. В начале 2024 г. подкомитет ИМО по проектированию и конструкции судна согласовал План действий по дальнейшему предотвращению и снижению подводного шума от судна, а также были разработаны поправки к главе II-1 конвенции СОЛАС (Международная конвенция по охране человеческой жизни на море, International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS) [6]. Разработанные рекомендации содержат перечень проектных, технических, эксплуатационных и ремонтных мероприятий по снижению шумности, которые необходимо применять как для новых, так и для эксплуатирующихся судов. Отдельная проблема связана с ростом шумового воздействия в Арктике. Геополитические, экономические и экологические изменения, происходящие в современном мире, привели к повышенному интересу к Северному морскому пути (СМП), где ежегодно отмечается увеличение навигационной активности. Рабочая группа по защите морской арктической среды, действующая при Арктическом совете (Protection of the Arctic marine environment Arctic Council, PAME) с 2017 г. изучает эту проблему. Арктика характеризуется наличием чувствительных и уязвимых к антропогенным воздействиям, в том числе шумам, объектов живой

природы, прежде всего, морских млекопитающих, которые тяжело адаптируются к изменениям шумовой нагрузки [7]. Решение данной проблемы невозможно без применения комплексного подхода, включающего мониторинг морских шумов на разных этапах технологического процесса, данные о которых должны формировать акустическую базу данных, разработку технических средств мониторинга, а также стандартизированных методик, позволяющих получать достоверные данные об антропогенных шумах в морской акватории [8].

Все это обуславливает актуальность проведенного исследования, основой которого является апробация четырехэлементной вертикальной приемной антенной решетки, разработанной для исследования характеристик подводного шума, необходимых, в том числе, и для решения экологических задач, а также формирования массива для банка данных характеристик подводного шумового фона.

Таким образом, целью исследования является проведение натурного эксперимента по регистрации шумовых характеристик судна в процессе разных режимов его работы, а также возможности применения разработанной технологии для акустического мониторинга в морских портах.

Материалы и методы

Основная задача экспериментальных исследований состояла в пробной регистрации гидроакустических сигналов, воспринимаемых разнесенными по вертикали ненаправленными гидрофонами вблизи трассы, по которой осуществляется вход (выход) морских судов в акваторию порта Владивосток и оценивание зависимости от времени спектральных и статистических характеристик зарегистрированных сигналов, в том числе при проходе судов. По состоянию на текущий момент методические подходы, регламентирующие гидроакустические измерения, ориентированные на решение задач морской экологии, отсутствуют. Вместе с тем, в странах Евросоюза уже принят ряд стандартов и рекомендаций, основные из которых учтены при проведении эксперимента [9, 10].

Полигоном для исследований, основная часть которых реализована в октябре 2024 г., выбрана акватория морского порта Владивосток в районе якорных стоянок № 164А и № 175А (рис. 1). Данный участок отличается высокой интенсивностью судоходства, высокой степенью маневрирования судов (поворот, замедление и ускорение хода, прием и высадка лоцманов). Все эти действия приводят к изменениям подводного звукового поля. При этом глубины здесь составляют около 20—30 метров, а при прохождении судов длиной более 100 м и осадкой более 5 м отмечаются гидродинамические возмущения водных масс, причем в трех милях находится свал глубин.

Во время регистрации сигналов судно стояло на якорю, соблюдался режим тишины, для электропитания аппаратуры использовались аккумуляторы. Для обработки зарегистрированных сигналов применялись программные средства собственной разработки. С использованием автоматической идентификационной системы (АИС, Automatic Identification System — AIS) [11] проводилось отслеживание перемещений судов, фиксировались их координаты и скорость.

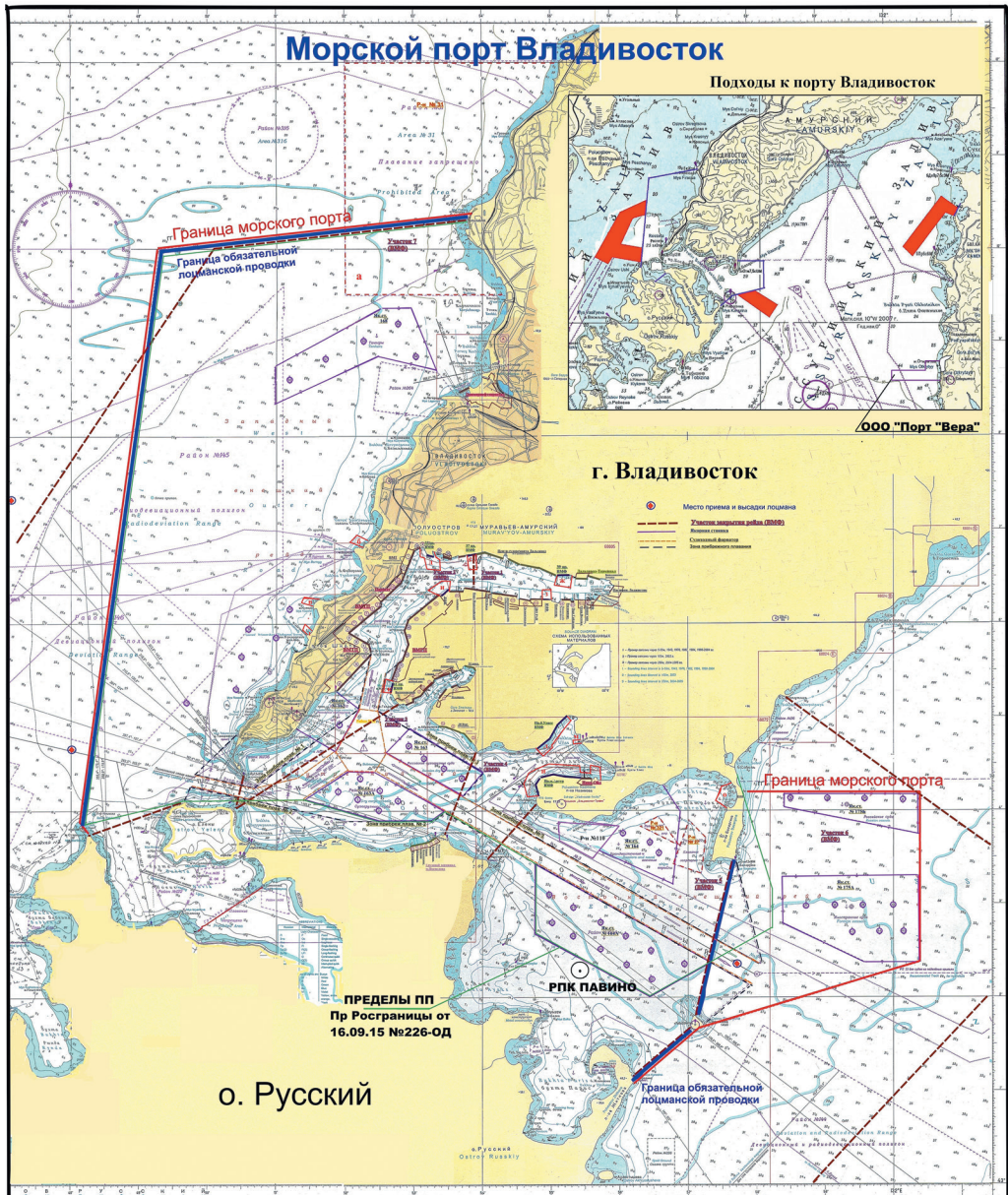


Рис. 1. Границы морского порта Владивосток.

Fig. 1. Vladivostok seaport boundaries.

Кроме того, весьма важными являлись вопросы выбора частотного диапазона, количества приемных элементов, направленных свойств и места установки приемных гидроакустических антенн, предназначенных для экологического

мониторинга. Поскольку в районе работ не ведутся буровзрывные, дноуглубительные и другие «шумные» работы, а также морские исследования сейсмическими методами, то основными источниками подводного шумоизлучения являются проходящие суда, основная часть которых сосредоточена на частотах до 1 кГц. Учитывая диапазон глубин в районе работ и необходимость учета влияния модовой структуры акустического поля, характерного для мелкого моря [12], представлялось целесообразным использование не одиночного гидрофона, а нескольких расположенных вертикально. Это позволило учитывать влияние модовой структуры и зависимость результатов от глубины установки приемных элементов [9, 10], особенно при оценивании абсолютных уровней звукового давления.

Используемые для целей экологического мониторинга и выявления наиболее интенсивных источников подводного шума технические средства не должны были располагаться далеко от основных источников подводного шума — движущихся судов, но в то же время не должны препятствовать их движению, в том числе при неблагоприятных погодных условиях.

При выполнении исследований судно с приемной антенной и аппаратурой регистрации поступающих с нее сигналов стояло на якоре в точке, местоположение которой обозначено звездой на рис. 1. Глубина места в точке установки антенны составляла 22 м, грунт в нем был с заиленными песками и с редким валунником. Волнение в этом месте не превышало 3 баллов по шкале Бофорта.

В качестве приемной антенны использовалась гибкая четырехэлементная вертикальная антенная решетка собственной разработки из гидрофонов давления с чувствительностями (без усилителей) 300+30 мкВ/Па в диапазоне частот 1—5000 Гц и электрическими емкостями 6+0,5 нФ. Конструкция данной антенной решетки позволяет изменять расстояния между гидрофонами.

Результаты и обсуждение

Морской порт Владивосток является одним из крупнейших портов России, его грузооборот в 2023 г. составил 33,51 млн тонн. При этом также растет количество судозаходов с целью бункеровки или при штормовой угрозе. На рис. 2 приведена динамика судозаходов в порт Владивосток за последнее десятилетие. Следует отметить, что в порту отмечается устойчивый рост заходов контейнеровозов (рис. 3), причем их число в 2023 г. превышало число заходов других судов почти в 5 раз.

Учитывая преобладающую долю судов данного типа в структуре заходов, в качестве объекта исследования был выбран контейнеровоз длиной 188 м, шириной 30 м, с осадкой во время движения по данным автоматической идентификационной системы (АИС) 7 м и водоизмещением более 30000 регистровых тонн. Контейнеровоз начал движение с якорной стоянки в проливе Босфор Восточный в сторону открытой части залива Петра Великого. Зависимость от времени расстояния до контейнеровоза во время эксперимента приведена на рис. 4. Минимальное расстояние до судна составляло 1589 м, скорость контейнеровоза относительно донного грунта по данным АИС составляла 2 м/с в начале движения и 8 м/с после прохода створа между маяками о. Скрыплева и м. Басаргина. Точность взаимного положения судна с приемной антенной и контейнеровоза составила около ± 2 м.

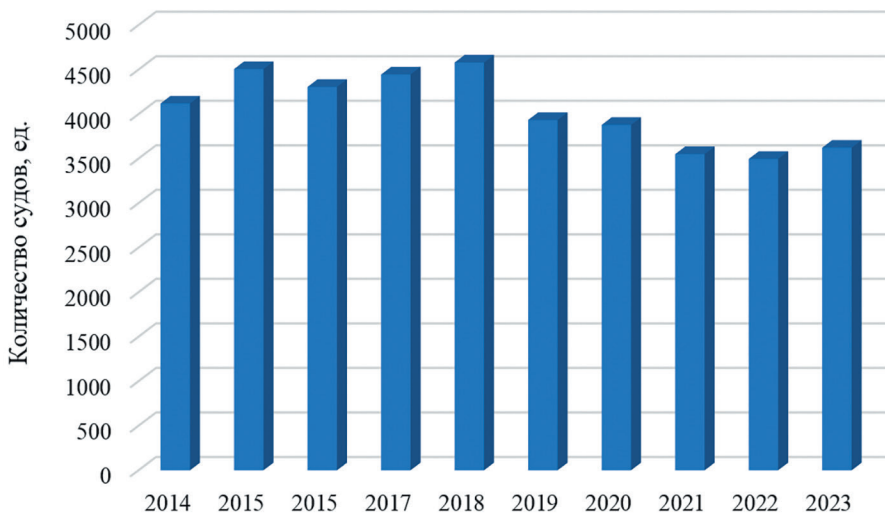


Рис. 2. Динамика судозаходов в порт Владивосток.

Fig. 2. The ship calls to the port of Vladivostok dynamics.

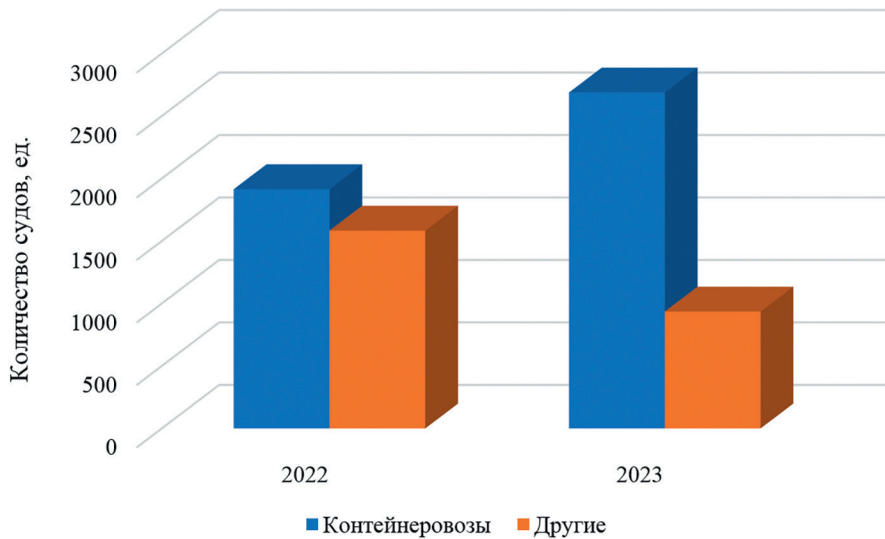


Рис. 3. Соотношение судозаходов разных типов судов.

Fig. 3. Ratio of the vessels different types calls.

На рис. 5 показаны осциллограммы сигналов y_1 , y_2 , y_3 , y_4 , поступавших с входящих в состав антенной решетки гидрофонов №1—№4, при прохождении контейнеровоза. Глубины погружения гидрофонов составляли 2, 4, 7,5 и 9,5 м,

причем ближайшим к поверхности моря был гидрофон № 1. Фактические отклонения положений гидрофонов от указанных значений под действием течения не превышали 0,1 м. Осциллограммы имеют вид шумовых дорожек с выбросами, вызванными волнением и плавными нарастаниями уровней, обусловленными

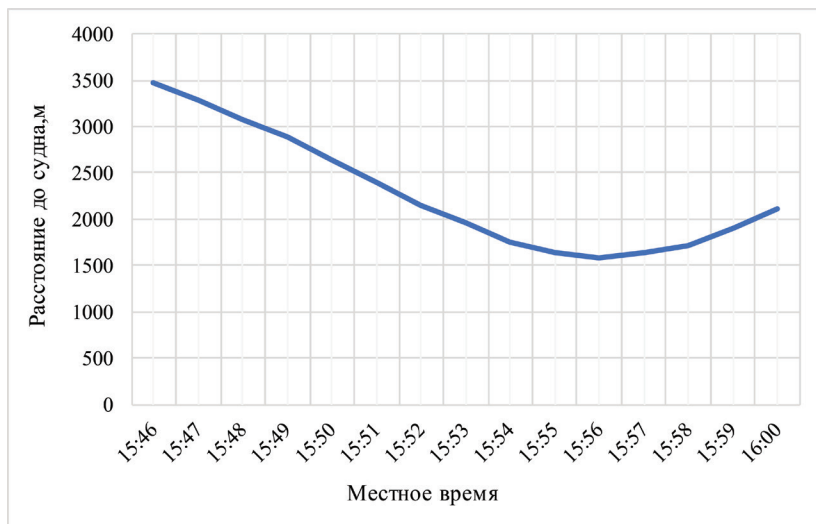


Рис. 4. Зависимость от времени расстояния до судна во время эксперимента.

Fig. 4 Time dependence of the distance to the vessel during the experiment.

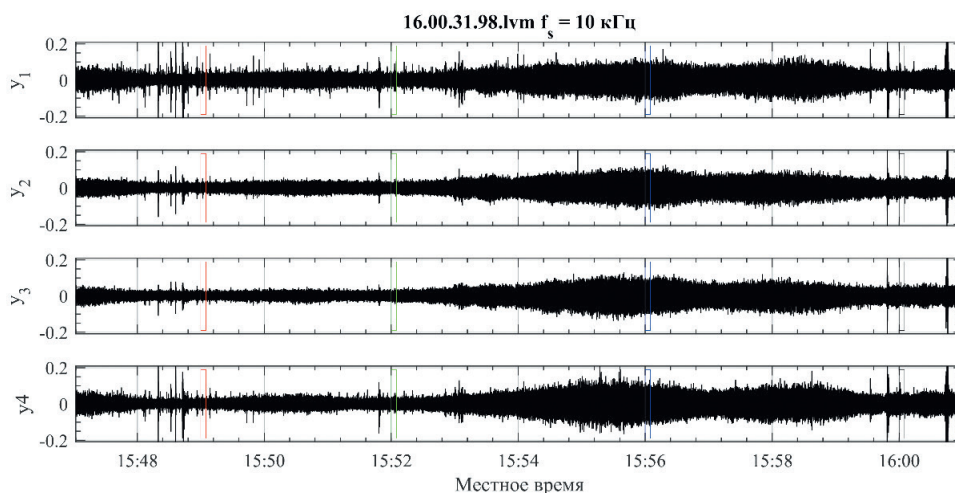


Рис. 5. Осциллограммы сигналов, зарегистрированных с помощью гидрофонов вертикальной антенной решеткой.

Fig. 5. Vertical antenna array signals oscillograms recorded using hydrophones.

изменениями расстояния между контейнеровозом и приемной антенной, а также волноводными эффектам [12].

Картины изменения уровней сигналов на разных гидрофонах различаются, замечен сдвиг по времени максимумов вблизи 15:54 ч, что обусловлено волноводными эффектами. Уровни сигналов условные, при этом можно считать, что для сигнала y_4 вблизи 15:52 ч они соответствуют уровням шумов глубокого моря при состоянии моря 5 баллов. Детальный анализ показывает, что зависимости уровней воспринимавшихся гидрофонами сигналов от расстояния между контейнеровозом и приемной антенной не описываются сферическим или цилиндрическим законом [13]. Это обусловлено тем, что в данном случае в качестве точечной модели источник шумоизлучения (контейнеровоза) представить нельзя в отличие от условий глубокого моря и больших расстояний [14, 15].

На рис. 6 приведены спектрограммы данных сигналов в частотных полосах шириной 10 Гц. Видны различия для гидрофонов, расположенных на разных

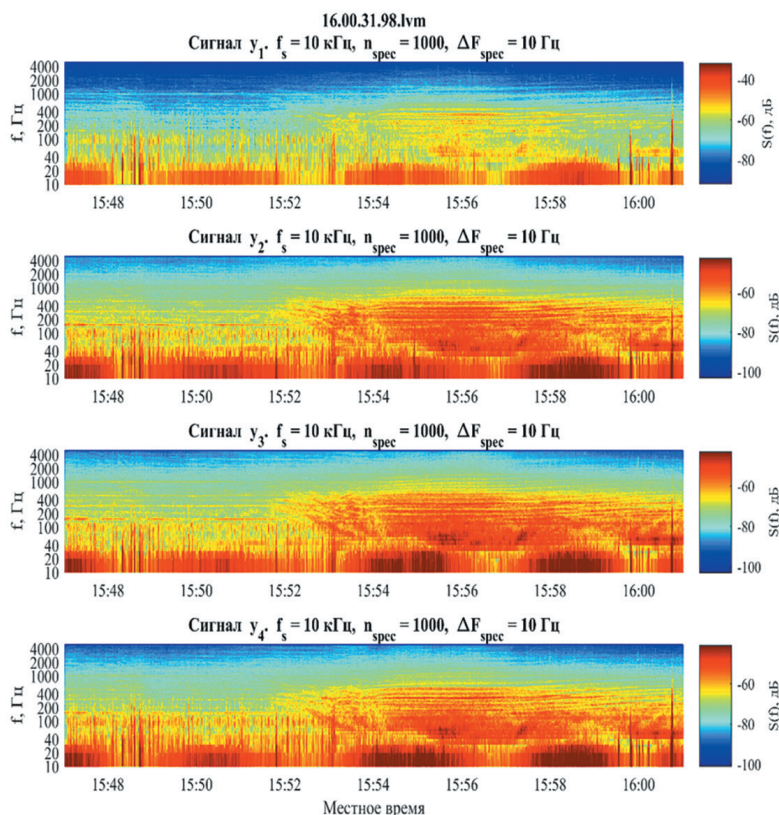


Рис. 6. Спектрограммы сигналов, зарегистрированных с помощью гидрофонов вертикальной антенной решетки.

Fig. 6. Spectrograms of signals recorded using vertical antenna hydrophones.

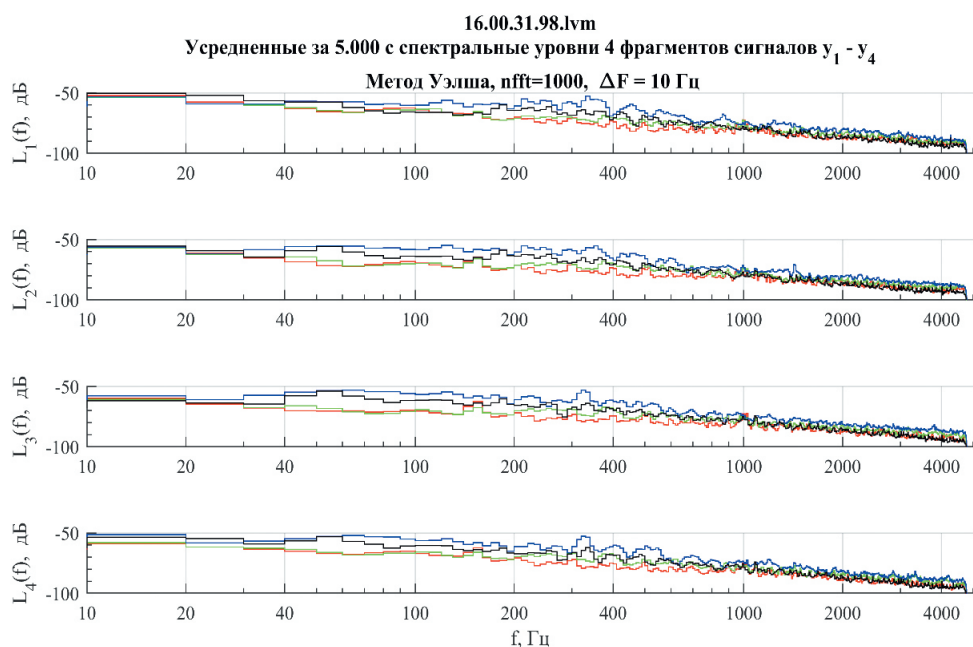


Рис. 7. Спектральные уровни сигналов, зарегистрированных с помощью гидрофонов вертикальной антенной решетки.

Fig. 7. Spectral levels of signals recorded using vertical antenna array hydrophones.

глубинах. Основная часть энергии шумоизлучения сосредоточена на частотах до 400—1000 Гц, что обусловлено волновыми эффектами при распространении сигналов в условиях мелкого моря.

Усредненные за 5 с спектральные уровни сигналов в полосах шириной 10 Гц, зарегистрированных с помощью гидрофонов вертикальной антенной решетки для нескольких интервалов времени показаны на рис. 7. У данного контейнеровоза практически отсутствуют дискретные составляющие в спектре шумоизлучения, что является признаком удовлетворительного технического состояния его механизмов.

Выводы

По данным ассоциации морских портов России, отмечается рост грузооборота и судозаходов судов различных типов во все отечественные порты, что приводит к повышению акустической нагрузки на окружающую среду, связанному с деятельностью судов. При этом в результате изменения мирового логистического рынка отмечается рост контейнерных перевозок в Азиатско-Тихоокеанском регионе, причем в 2022—2023 гг. выявлен их рост на 40 %. Это определило выбор объекта (порт Владивосток) для проведения натурного эксперимента.

В результате проведенных натурных испытаний можно сделать следующие выводы:

— Морские суда являются источниками акустического воздействия, что приводит к экологической деформации среды. При этом основными источниками шума на судах являются главный двигатель и вспомогательное оборудование, реализующее судовой технологический процесс.

— Четырехэлементная вертикальная приемная антенная решетка позволяет получать комплексные характеристики подводного шума, данные которых могут быть использованы для формирования базы данных шумов и в дальнейшем — для разработки инженерных решений по снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье персонала.

— Зависимости уровней сигналов от расстояния между контейнеровозом и приемной антенной не соответствуют сферическому и цилиндрическому законам.

— Судно генерирует постоянную низкочастотную составляющую шума в диапазоне до 40 Гц независимо от скорости движения. При увеличении скорости судна отмечается рост энергии шумоизлучения в области более высоких частот, обусловленный работой гребного винта.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о применимости разработанной антенной решетки для мониторинга шумов судоходства и могут быть использованы при разработке рекомендаций по снижению акустического воздействия, реализуемых в рамках деятельности программного подкомитета ИМО по предотвращению и снижению подводного шума от судов.

Список литературы

1. Лыков И. Н., Николаева Т. С., Рахимов К. В. Экологические и социальные аспекты шумового загрязнения окружающей среды // Экология урбанизированных территорий. 2019. №2. С. 80—84. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12080.
2. Mitson R. B., Knudsen H. P. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation // J. Aquat. Living Resour. 2003. Vol.16. No. 3. P. 255—263.
3. Кузнецов М. Ю., Поляничко В. И., Убарчук И. А., Сыроваткин Е. В. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) // Известия ТИНРО. 2017. Том 190. Вып. 3. С. 85—100. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2017-190-127>.
4. Popper A. N., Fay R. R., Platt C., Sand O. Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes. /In: Collin S.P., Marshall N.J. (eds.) Sensory Processing in Aquatic Environments. Springer, New York, 2003. https://doi.org/10.1007/978-0-387-22628-6_1.
5. Чешм Сиахи В., Кудрявцев В. Н., Юровская М. В. Параметрическая модель поверхностных волн в приложении к Арктическим морям // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 515—530. DOI 10.33933/2713-3001-2021-64-515-530.
6. Ship energy efficiency and underwater radiated noise // International Maritime Organization. URL: <https://www.imo.org/en/About/Events/Pages/URN-Workshop-2023.aspx> (дата обращения: 05.11.2024).
7. Underwater noise pollution from shipping in the Arctic // Arctic Council working Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://pame.is/ourwork/arctic-shipping/current-shipping-projects/underwater-noise-in-the-arctic/>. (дата обращения: 05.11.2024).
8. Таровик В. И. Постановка задачи о техногенном подводном шуме как факторе государственной морской промышленной и транспортной политики // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. № 3(397). С. 115—126. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-3-397-115-126.

9. Underwater Noise from Ships, Full Scale Measurement // WP 3 – Measurements. D 3.1 European URN Standard Measurement Method 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.ittc.info/media/8183/75-04-04-01.pdf>. (дата обращения: 05.11.2024).
10. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement // Tethys. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/gpg133underwater.pdf>. (дата обращения: 05.11.2024).
11. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems // Testers for Marine Radios, EPIRBs and AIS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://gmdsstesters.com/downloads/docs/IEC61993.pdf>. (дата обращения: 05.11.2024).
12. Кацнельсон Б. Г., Петников В. Г. Акустика мелкого моря. М.: Наука, 1997. 191 с.
13. Бутырский Е. Ю. Теоретические основы гидроакустики и акустики океана. Санкт-Петербург: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2022. 738 с. DOI 10.37468/book_171022.

References

1. Lykov I. N., Nikolaeva T. S., Rakhimov K. V. Environmental and social aspects of noise pollution. *Ecologiya urbanizirovannykh territoriy = Ecology of urbanized areas*. 2019. (2): 80—84. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12080. (in Russ.).
2. Mitson R. B., Knudsen H. P. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation. *J. Aquat. Living Resour.* 2003;16(3): 255—263.
3. Kuznetsov M. Yu., Polyanichko V. I., Urbachuk I. A., Syrovatkin E. V. Impact of hydroacoustic noise of the vessel on echo-integration estimates of fish stocks and capture trawl (on the example of the Sea of Okhotsk pollock). *Izvestiya TINRO = TINRO news*. 2017. 190(3): 85—100. DOI:10.26428/1606-9919-2017-190-127. (in Russ.).
4. Popper A. N., Fay R. R., Platt C., Sand O. Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes. In: Collin S.P., Marshall N.J. (eds.) *Sensory Processing in Aquatic Environments*. Springer, New York, 2003. https://doi.org/10.1007/978-0-387-22628-6_1.
5. Cheshm Siakhi V., Kudryavtsev V., Yurovskaya M. Parametric model of surface waves applied to the Arctic seas. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021; (64): (515—530). DOI 10.33933/2713-3001-2021-64-515-530. (in Russ.).
6. Ship energy efficiency and underwater radiated noise. International Maritime Organization. Available at: <https://www.imo.org/en/About/Events/Pages/URN-Workshop-2023.aspx> (accessed on: 05.11.2024).
7. Underwater noise pollution from shipping in the Arctic. Arctic Council working Group. Available at: <https://pame.is/ourwork/arctic-shipping/current-shipping-projects/underwater-noise-in-the-arctic/> (accessed on: 05.11.2024).
8. Tarovik V. Formulation of technogenic underwater noise problem as a factor of state marine and transport policy. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra = Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2021; 3(397):(115—126). DOI: 10.24937/2542-2324-2021-3-397-115-126. (in Russ.).
9. Underwater Noise from Ships, Full Scale Measurement. WP 3 Measurements. D 3.1 European URN Standard Measurement Method 2014. Available at: <https://www.ittc.info/media/8183/75-04-04-01.pdf> (accessed on: 05.11.2024).
10. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. Tethys. Available at: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/gpg133underwater.pdf> (accessed on: 05.11.2024).
11. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems. Testers for Marine Radios, EPIRBs and AIS. Available at: <https://gmdsstesters.com/downloads/docs/IEC61993.pdf> (accessed on: 05.11.2024).
12. Katsnelson B., Petnikov V. *Acustica melkogo moray = Acoustics of the shallow sea*. A textbook. Moscow: Nauka. 1997: 191 p. (in Russ.).
13. Butyrskiy E. Yu. *Theoreticheskie osnovy gidroacustiki i akustiki okeana = Theoretical foundations of hydroacoustics and ocean acoustics*. A textbook. St. Peterburg: Information Publishing Educational and Scientific Center «Strategy of the Future». 2022: 738 p. DOI 10.37468/book_171022. (in Russ.).

Сведения об авторах

Горовой Сергей Владимирович, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Политехнический институт, департамент электроники, телекоммуникации и приборостроения, доцент, e-mail: gorovoy.sv@dvfu.ru.

Кирьянов Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Политехнический институт, департамент электроники, телекоммуникации и приборостроения, доцент, e-mail: kirianov.av@dvfu.ru.

Блиновская Яна Юрьевна, д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Политехнический институт, департамент природно-технических систем и техносферной безопасности, профессор, e-mail: blinovskaia.iaiu@dvfu.ru.

Борейко Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, ФГБУН «Институт проблем морских технологий ДВО РАН», заместитель директора по научной работе, e-mail: boreyko@marine.febras.ru.

Пестов Даниил Александрович, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Политехнический институт, департамент электроники, телекоммуникации и приборостроения, аспирант, e-mail: pestov.da@dvfu.ru.

Information about authors

Gorovoy Sergey Vladimirovich, FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Polytechnical institute, department of electronics, telecommunications and instrumentation engineering, associate professor.

Kiryanov Alexey Valerievich, PhD (Tech. Sci.), FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Polytechnical institute, department of electronics, telecommunications and instrumentation engineering, associate professor.

Blinovskaya Yana Yurievna, Grand PhD (Tech. Sci.), associate professor, FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Polytechnical institute, natural and technical system and technospherical safety department, professor.

Boreyko Alexey Anatolyevich, PhD (Tech. Sci.), FGBUN «Institute of the Marine Technology Problems FEB RAS», Deputy Director for Research.

Pestov Daniil Alexandrovich, FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Polytechnical institute, department of electronics, telecommunications and instrumentation engineering, post-graduate student.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 12.11.2024

Принята к печати 13.12.2024

The article was received on 12.11.2024

The article was accepted on 13.12.2024