

УДК 534–143

С.В. Горовой, А.В. Кирьянов, Е.М. Желдак

**МОНИТОРИНГ ШУМОВ МОРЯ ВБЛИЗИ ОКЕАНАРИУМА
В ГОРОДЕ ВЛАДИВОСТОКЕ**

Рядом национальных и международных документов в число показателей экологического состояния прибрежных территорий включены характеристики шумов моря. В работе описаны результаты исследования спектральных и взаимно-спектральных характеристик гидроакустических шумов в диапазоне частот 30–4000 Гц, зарегистрированных в районе к востоку от океанариума г. Владивосток, расположенного на о. Русском. Глубина места в районе проведения исследований составляет 20–30 м, грунт – песок и камни, расстояние до берега 1 миля. Данный район характеризуется высокой интенсивностью судоходства. Средний интервал времени между проходами российских и иностранных океанских судов на расстояниях до 3 миль от места проведения исследований не превышает двух часов. Во время исследований расстояние до ближайшего из стоящих на якорях судов составляло 3 мили. Для приема сигналов использовалась мобильная приемная система, состоящая из двух разнесенных на 1,85 м по вертикали ненаправленных гидрофонов, прикрепленных к дрейфующему бую с помощью упругой подвески. Воспринимаемые гидрофонами сигналы передавались по кабелю на легкий катер, дрейфующий вместе с буюм. Приведены результаты исследования временной изменчивости спектральных и взаимно-спектральных характеристик шумов данной акватории, в том числе при проходе судов вблизи приемной системы. Во время проведения измерений усредненный спектральный уровень на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц составлял 70–80 дБ относительно 1 мкПа. Зафиксированы временные изменения фазовых соотношений между составляющими взаимного спектра для разнесенных по вертикали гидрофонов, в том числе при отсутствии в пределах прямой видимости с катера движущихся судов. На интервалах времени от единиц до десятков секунд они изменялись от «полной некогерентности» до «полной когерентности» в диапазоне частот от 300 Гц до 4 кГц. Эти изменения могут быть представлены как изменения частотного распределения интенсивности гидроакустического шума в вертикальной плоскости со временем, связанными с флуктуациями фазы воспринимаемых гидрофонами сигналов.

Экологический мониторинг; шумы моря; спектральный анализ; функция когерентности; обработка гидроакустических сигналов; флуктуации фазы.

S.V. Gorovoy, A.V. Kiryanov, E.M. Jeldak

**MONITORING OF UNDERWATER NOISE NEAR VLADIVOSTOK
OCEANARIUM**

The paper describes the results of the study of spectral and cross-spectral characteristics of underwater noise in the frequency range of 30–4000 Hz, registered in the area east of Vladivostok oceanarium located on Russkiy island. The depth in the study area is 20–30 meters; the bottom is sand and stones; and the distance to the shore is 1 nautical mile. This area is characterized by intense traffic. The average time interval between vessels at distances of up to 3 miles from the study area does not exceed two hours. The distance to the nearest anchored vessel was about 3 miles. A receiving system consisting of two vertically spaced omnidirectional hydrophones attached to the drifting buoy was used for receiving underwater noise signals. The signals received by hydrophones were transmitted by cable to a light boat drifting along the buoy. The results of the study of temporal variability of spectral and cross-spectral characteristics of noise in the water area, including the noise from passing vessels near the receiving system, are presented. During the measurement the averaged spectral level at 1 kHz frequency in 1 Hz band was 70–80 dB relative to 1 μ Pa. The temporal changes of phase relations between the components of cross-spectrum for the vertically spaced hydrophones were registered, including changes in the absence of moving

vessels in the line of sight from the boat. At time intervals from a few to tens of seconds, they varied from "complete incoherence" to "complete coherence" in the frequency range from 300 Hz to 4 kHz. These changes can be represented as changes in the intensity distribution of the underwater noise in the vertical plane with time.

Environmental monitoring; underwater noise; spectral analysis; coherence function; processing of underwater noise signals; noise signal phase fluctuations.

Введение. Подводный шум, обусловленный судоходством и промышленной деятельностью на морском шельфе способен оказывать вредоносное влияние на морских обитателей. Рядом национальных и международных документов в число показателей экологического состояния прибрежных территорий включены характеристики шумов моря [1–3]. Рекомендуемые методики измерения параметров шумов моря описаны в [4–7]. Экологический мониторинг шумов моря ведется рядом организаций и в нашей стране. Так, результаты измерения параметров шумов моря вблизи о. Сахалин приведены в [8, 9]. Экологический мониторинг шумов моря может проводиться с различными целями, соответственно должны выбираться контролируемые параметры [8–19], перечень которых до настоящего времени продолжает пополняться. Открытым остается вопрос о необходимости контроля для целей экологического мониторинга изменчивости пространственной когерентности гидроакустического шума и фазовых соотношений между шумовыми сигналами, воспринимаемыми разнесенными в пространстве приемниками. Эти сведения важны для оценки влияния шумов на возможность пространственного ориентирования морских обитателей.

Для целей экологического мониторинга шумов моря могут быть использованы специализированные стационарные (закрепленные на морском дне и не предназначенные для перемещения), одноразовые и многократно—используемые автономные и дрейфующие океанологические измерительные системы, а также системы, предназначенные для проведения измерений с борта судна на ходу или в дрейфе [8, 20]. При этом возможны варианты с записью измерительной информации на встроенный цифровой накопитель и/или с передачей информации в реальном масштабе времени по радиоканалу или по кабелю.

Для целей экспресс-мониторинга прибрежных районов при относительно спокойном состоянии моря могут быть использованы дрейфующие системы, в которых в качестве буя, к которому крепится приемная система, служит маломерное судно (катер, моторная лодка, водный мотоцикл) или дистанционно-управляемое безэкипажное плавательное средство. В Инженерной школе Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, ведутся работы по созданию такой системы экологического мониторинга морской среды.

Район и средства проведения экспериментальных исследований. В настоящей работе приведены результаты исследования временной изменчивости спектральных и взаимно-спектральных характеристик гидроакустических шумов, зарегистрированных в ходе 3-х часового эксперимента с помощью мобильной системы мониторинга в заливе Петра Великого Японского моря в районе к востоку от океанариума г. Владивосток, расположенного на о. Русский.

В районе о. Русский по несколько раз в год появляются нерпы, практически ежегодно удается увидеть малых китов-полосатиков, влияние на миграцию которых подводных шумов техногенного происхождения до конца не изучено.

Глубина места в районе проведения исследований составляет 20–30 м, грунт – песок и камни, скорость течения не превышает 0,5 узла, расстояние до берега 1 миля. На расстоянии порядка 2 миль от района исследований находится якорная стоянка и проходит граница внешней акватории порта Владивосток, а также пролегает маршрут, по которому осуществляется вход и выход отечественных и ино-

странных океанских судов в порт. Данный район характеризуется высокой интенсивностью судоходства. Средний интервал времени между проходами судов по данному маршруту не превышает двух часов.

Исследования проводились в сентябре-октябре 2014 года в сухую безветренную погоду, когда состояние моря не превышало 3-х баллов, а скорость течения не превышала 0,1 м/с. Расстояние от района проведения исследований до ближайшего из стоящих в это время на якорях судов составляло 3 мили. Для приема сигналов использовалась приемная система, состоящая из двух разнесенных по вертикали ненаправленных пьезокерамических сферических гидрофонов \varnothing 50 мм со средней чувствительностью 180 мкВ/Па в диапазоне частот 30–7000 Гц, прикрепленных с помощью упругой подвески к дрейфующему бую. Глубины погружения гидрофонов составляли соответственно 10 м и 11,85 м. Воспринимаемые гидрофонами сигналы передавались по кабелю с прикрепленными плавучестями на катер водоизмещением 3 т, дрейфующий вместе с бую. Во время измерений на катере соблюдался режим тишины, электропитание аппаратуры осуществлялось от аккумуляторов. В качестве гидрофонных предусилителей использовались усилители заряда типа 2635 компании Брюль и Кьер, входное сопротивление которых составляет 1 ГОм. Для оцифровки сигналов использовалась высококачественная 24-разрядная внешняя звуковая карта E-MU 0404USB2 Creative Labs, частота квантования f_s составляла 16 кГц. Оцифрованные сигналы записывались на жесткий диск компьютера в виде *.wav файлов.

Результаты исследований. На рис. 1 показана осциллограмма 30-минутного фрагмента ненормированного сигнала на выходе предусилителя нижнего гидрофона. В данном масштабе осциллограмма имеет вид шумовой дорожки с плавными максимумами и выбросами. Ее вид можно считать типичным для данного района, средний уровень шумовой дорожки зависит от состояния моря. Максимумы шума в области 300 с и 1050 с обусловлены проходами судов (приближение–удаление) на расстояниях порядка 0,3–0,5 мили от гидрофонов. Малоаметные максимумы в областях 700 с и 800 с соответствуют проходам двух судов на удалении более 3-х миль. Короткие выбросы на осциллограмме связаны с неизбежными на волнении рывками упругой подвески гидрофонов и кабеля, соединяющего буй с катером. Выбросы на интервале времени 350–550 с вызваны рывками упругой подвески и кабеля, которые наблюдались, когда к бую подошли поверхностные волны, вызванные прошедшим судном. Осциллограмма сигнала, поступавшего в это же время с верхнего гидрофона, имеет подобный вид.

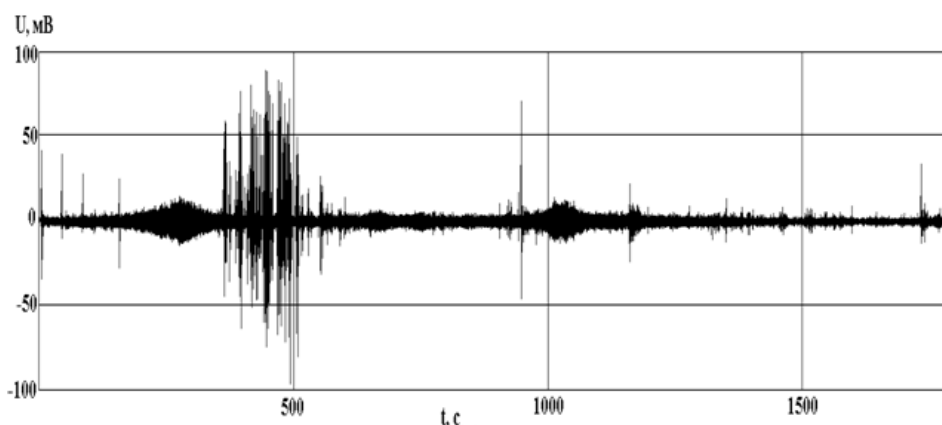


Рис. 1. Осциллограмма 30-минутного фрагмента сигнала на выходе предусилителя нижнего гидрофона (масштаб по оси ординат условный)

На рис. 2 показаны спектрограммы (использовалось БПФ 1024 отсчета, окно Ханна) 10-минутных фрагментов сигналов с выходов гидрофонных предусилителей, когда мимо приемной системы на удалении порядка 0,3 мили со скоростью 8–10 узлов проходило судно водоизмещением ориентировочно 800 тонн (участок 0–600 с, рис. 1). Спектрограммы построены с помощью пакета Spectralab (Sound Technology). Они имеют вид, характерный для волноводного распространения звука с затуханием мод на частотах ниже критической. Частота среза может быть оценена по известной формуле [21]

$$f_0 = \frac{c_w}{4D\sqrt{1 - (c_w/c_b)^2}}.$$

Это выражение справедливо для плоского однородного жидкого слоя толщиной D м, скорость звука в котором составляет c_w м/с, лежащем на упругом полупространстве, продольная скорость звука в котором составляет c_b м/с. При $D = 30$ м, в предположении, что $c_w = 1500$ м/с, а $c_b = 1600$ м/с (песок-ил) значение критической частоты составляет $f_0 = 33$ Hz.

При восприятии на слух анализируемых сигналов на интервале времени, соответствующем минимальному расстоянию до проходящего судна прослушиваются щелчки, вызванные кавитацией на его гребном винте.

На рис. 3 показан усредненный спектр воспринимаемого нижним гидрофоном гидроакустического шума на интервале времени 1500–1700 с (рис. 1) в диапазоне частот до 3,5 кГц. На этом интервале времени в области прямой видимости с катера отсутствовали движущиеся суда. Качественно вид спектра соответствует результатам, полученным в подобных условиях рядом авторов [5, 17, 21–23]. На частотах выше 500 Гц наклон спектра составляет 5 дБ на октаву.

На рис. 4 показан начальный участок данного спектра. Подъем сплошной части спектра и дискретные спектральные составляющие в области 40–500 Гц имеют техногенное происхождение. Спад спектра на частотах ниже 100 Гц, заметный и на спектрограммах (рис. 2) соответствует «запиранию» волновода на частотах ниже критической и частотной характеристикой поглощения в дне [21, 22]. Подъем спектра на частотах ниже 30 Гц обусловлен гидродинамическими помехами и влиянием на результаты измерений поверхностного волнения. Ввиду ограниченных возможностей демпфирования низкочастотных колебаний гидрофонов, вызванных поверхностным волнением с помощью использованной при проведении исследований упругой подвески, приведенные на рис. 3 и рис. 4 спектральные уровни на частотах ниже 30 Гц не следует считать достоверными. Они приведены исключительно для демонстрации влияния поверхностного волнения на результаты измерений.

Весьма важным является вопрос о пространственной корреляции и распределении интенсивности шумов в вертикальной плоскости. Для их оценки может быть использовано преобразование Фурье взаимной спектральной плотности шумов, воспринимаемых двумя разнесенными по вертикали гидрофонами [22].

Взаимная спектральная плотность сигналов $x(t)$ и $y(t)$ определяется известным соотношением

$$S_{xy}(f) = P_{xy} e^{i\varphi_{xy}(f)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\overline{X(f)Y^*(f)}}{T},$$

где $X(f)$ и $Y(f)$ – спектральные плотности сигналов $x(t)$ и $y(t)$, знак * означает комплексное сопряжение, горизонтальная черта означает статистическое усреднение. Модуль взаимной спектральной плотности $P_{xy}(f) = |S_{xy}(f)|$ характеризует меру связи между частотными составляющими сигналов. Аргумент взаимной спектральной плотности (фазовый угол взаимной спектральной плотности) $\varphi_{xy}(f)$ может быть представлен как «усредненный фазовый сдвиг» между спектральными составляющими сигналов $x(t)$ и $y(t)$ на соответствующих частотах.

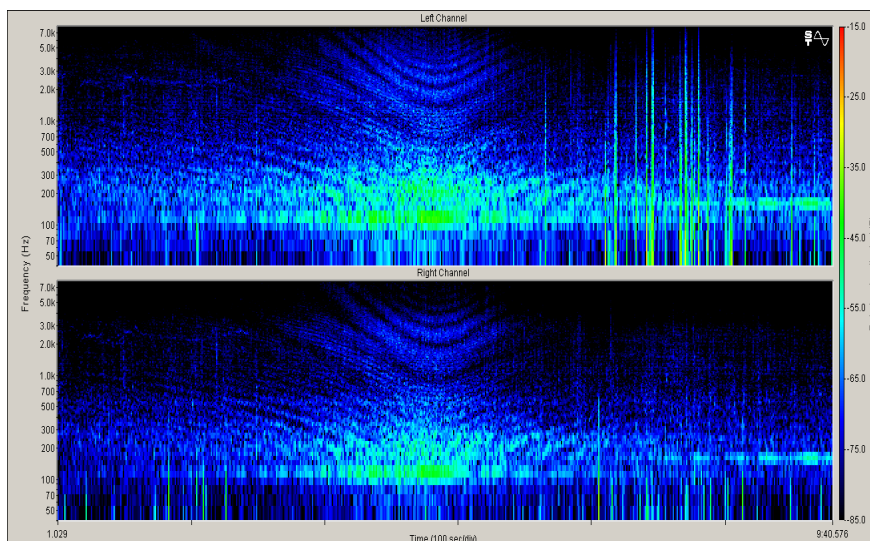


Рис. 2. Спектрограммы фрагментов сигналов на выходах предусилителей гидрофонов на интервале 0–600 с, соответствующем проходу судна (рис. 1)

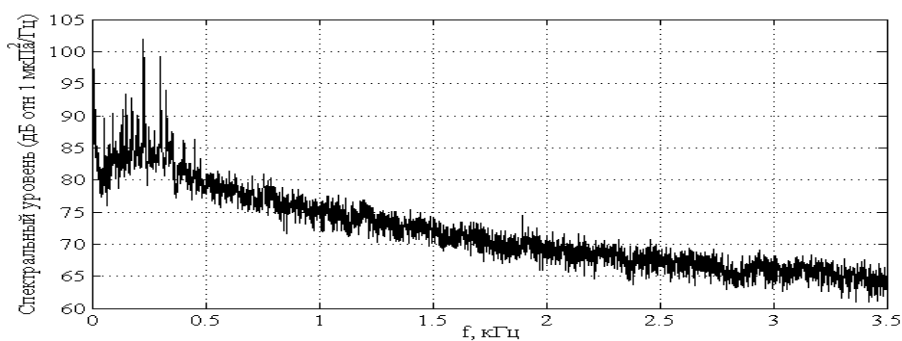


Рис. 3. Усредненный спектр гидроакустического шума в диапазоне частот до 3,5 кГц на интервале времени 1500–1700 с (рис. 1)

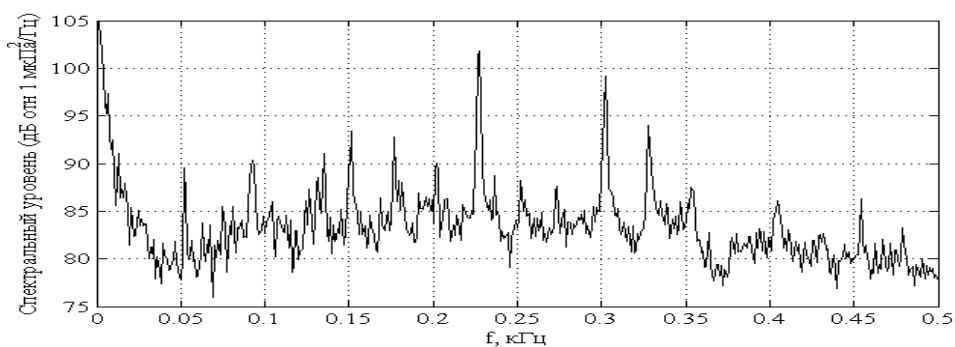


Рис. 4. Усредненный спектр гидроакустического шума в диапазоне частот до 500 Гц на интервале времени 1500–1700 с (рис. 1). Спектральные уровни на частотах ниже 30 Гц не следует считать достоверными

На рис. 5 показан модуль взаимной спектральной плотности верхнего и нижнего гидрофонов $P_{xy}(f) = |S_{xy}(f)|$ на интервале времени 0–2 с (рис. 1). Расчет взаимного спектра производился методом Уэлча, для усреднения использовалось по 8 частично перекрывающихся сегментов каждого сигнала. Каждый сегмент содержал по 2048 отсчетов сигнала, перекрытие сегментов составляло 512 отсчетов. Для других интервалов времени (рис. 1), в том числе соответствующим проходам судов, модуль взаимного спектра выглядит аналогично. Для ускорения расчета взаимного спектра частота дискретизации была понижена до 8 кГц. Наклон взаимного спектра на частотах выше 3,6 кГц обусловлен завалом АЧХ КИХ фильтра нижних частот, с помощью которого подавлялись высокочастотные составляющие перед понижением частоты дискретизации.

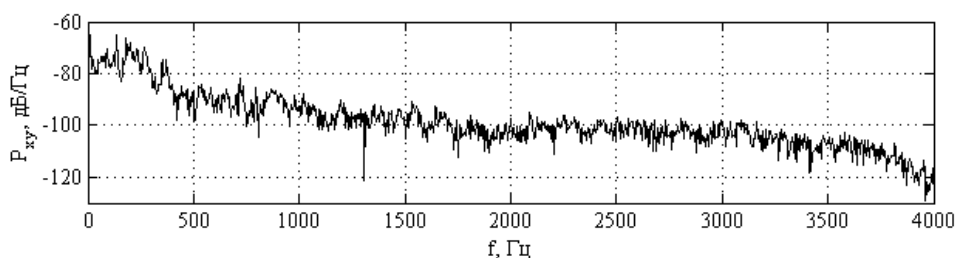


Рис. 5. Взаимная спектральная плотность гидроакустического шума между сигналами верхнего и нижнего гидрофонов на интервале времени 0–10 с (рис. 1), масштаб по оси ординат условный

На рис. 6 показаны фазы взаимных спектров верхнего и нижнего гидрофонов (в угловых градусах), рассчитанных для интервалов времени, последовательно отстоящих друг от друга на 2,5 с, начиная с момента времени 0 с (рис. 1). В отличие от $P_{xy}(f)$ частотная зависимость фазы угла взаимного спектра от времени изменялась более существенно. Так, анализ 12-го и 13-го (сверху) графиков позволяет сделать вывод, что на соответствующем им интервале времени в течении ориентировочно 7 с соблюдались условия практически полной когерентности воспринимаемых гидрофонами сигналов в диапазоне частот от 300 Гц до 4 кГц. Это не связано с рывками приемной системы на волнении или какими-либо существенными изменениями погоды и надводной обстановки. Для других фрагментов сигнала (рис. 1) также наблюдались аналогичные фрагменты. Они могут быть представлены как приход со стороны открытого моря неких «волновых пакетов с широким спектром», (в данном случае длительностью порядка 10 с под углом 36° к вертикали), не связанных с прохождением судов в непосредственной близости от гидрофонов. На 4-м и 5-м снизу графиках в области 1200 Гц и 2300 Гц наклон фазового спектра практически отсутствует, что может быть представлено как приход волновых пакетов длительностью порядка 5 с с близких к горизонтальному направлений.

На всех графиках пределы шкал по вертикали от -200° до $+200^\circ$

Подобные изменения фазы взаимного спектра в различных частотных полосах со временем, обусловленные предположительно близостью порта и судоходной трассы, могут оказывать существенное влияние на поведение морских обитателей с развитой слуховой системой.

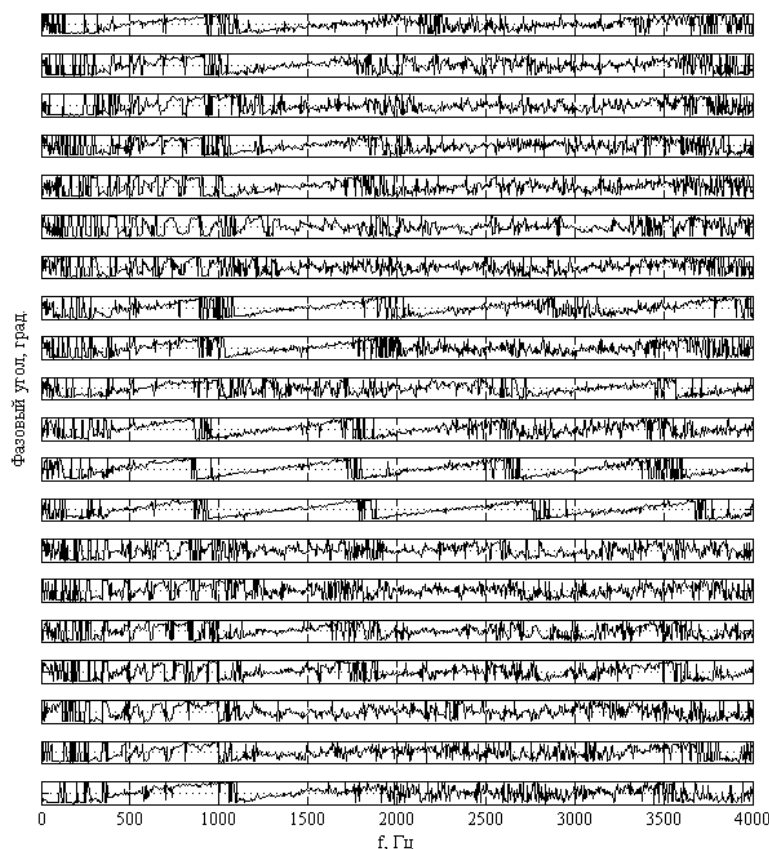


Рис. 6. Последовательные изменения частотной зависимости фазы (в угловых градусах) взаимного спектра гидроакустического шума между сигналами верхнего и нижнего гидрофонов при 20 последовательных сдвигах на 2,5 с анализируемых фрагментов на интервале времени начиная с 0 с (рис. 1)

Выводы:

1. Спектральные уровни гидроакустических шумов вблизи океанариума г. Владивосток, о. Русский, даже в отсутствии в области прямой видимости движущихся судов соответствуют максимальным уровням шумов судоходства [3]. Во время проведения измерений усредненный спектральный уровень на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц составлял 70–80 дБ относительно 1 мкПа.

2. Фазовые соотношения между составляющими взаимного спектра шумов моря между разнесенными по вертикали гидрофонами в данном районе могут изменяться на интервалах времени порядка от единиц до десятков секунд от «полной некогерентности» до «полной когерентности» в диапазоне частот от 500 Гц до 4 кГц. Это может быть представлено как изменения частотного распределения интенсивности шумовых сигналов в вертикальной плоскости со временем.

3. Подобные изменения фазы взаимного спектра со временем и соответственно изменения частотного распределения интенсивности шумовых сигналов в вертикальной плоскости, обусловленные предположительно близостью порта и судоходной трассы, могут оказывать существенное влияние на ориентацию и поведение морских обитателей, предположительно, вплоть до кратковременной потери ориентационной способности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008, establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) // Official Journal of the European Union. – 2008. – L164. – P. 19-40.
2. U.S. Commission on Ocean Policy. An Ocean Blueprint for the 21st Century. Final Report. Washington, DC. – 2004.
3. *McCarthy E.* International Regulation of Underwater Sound. – New York: Kluwer Academic Publisher, 2004.
4. *Robinson S.P., Lepper P.A., Hazelwood R.A.* Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. NPL Good Practice Guide No. 133 / National Measurement Office, Marine Scotland. The Crown Estate. – 2014. – ISSN: 1368-6550.
5. *Carey W.M., Evans R.B.* Ocean Ambient Noise. Measurement and Theory. – New York: Springer, 2011.
6. *de Jong C.A.F., Ainslie M.A., Blacquièrre G.* Report TNO-DV 2011 C251 Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing. The Hague. – 2011.
7. *Tyack P., Gordon J., Thompson D.* Controlled Exposure Experiments to Determine the Effects of Noise on Large Marine Mammals // Marine Technology Society Journal. – 2004. – Vol. 37 (4). – P. 41-53.
8. *Рутенко А.Н., Гриценко В.А.* Мониторинг антропогенных акустических шумов на шельфе о. Сахалин // Акустический журнал. – 2010. – Т. 56, № 1. – С. 77-81.
9. *Веденев А.И.* Критерии и результаты акустического мониторинга района кормления серых китов вблизи строительства трассы нефтепровода на шельфе о. Сахалин // Доклады XII научной школы-семинара имени академика Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XXI сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 228-233.
10. National Research Council. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining when Noise Causes Biologically Significant Effects, Washington, DC: National Academies Press, 2005.
11. *Simmonds M.P., Dolman S.J., Jasny M., Parsons E.C., M. Weilgart L., Wright A.J., Leaper R.* Marine noise pollution—increasing recognition but need for more practical action // Journal of Ocean Technology. – 2014. – Vol. 9 (1). – P. 71-90.
12. Review of post-consent offshore wind farm monitoring data associated with licence conditions. A report produced for the Marine Management Organisation. MMO Project. – 2014. – No. 1031. – P. 194. – ISBN: 978-1-909452-24-4.
13. *Nathan D., Pirotta M.E., Barton T.R., Thompson P.M.* Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals // Marine Pollution Bulletin. – 2014. – Vol. 78. – P. 85-95.
14. Проблемы мониторинга природно-технических систем шельфовых зон в связи с развитием нефтегазового комплекса Дальнего Востока / под ред. Фаткулина А.А. – Владивосток: Изд-во ДВТГУ, 2010. – 332 с.
15. *Горовой С.В.* Использование трехмерных корреляционных функций гидроакустических шумов для целей экологического мониторинга водных районов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 9 (146). – С. 69-75.
16. Review of post-consent offshore wind farm monitoring data associated with licence conditions. A report produced for the Marine Management Organisation, pp 194. MMO Project. No 1031. – 2014. – ISBN: 978-1-909452-24-4.
17. *McKenna M.F., Ross D., Wiggins S.M., Hildebrand J.A.* Underwater radiated noise from modern commercial ships. // Journal of the Acoustical Society of America. – 2012. – Vol. 131 (1). – P. 92-103.
18. *Andrew R.K., Howe B.M., Mercer J.A., Dzieciuch M.A.* Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast // Acoustics Research Letters Online. – 2002. – Vol. 3 (2). – P. 65-70.
19. *Chapman N.R., Price A.* Low frequency deep ocean ambient noise trend in the Northeast Pacific Ocean // Journal of the Acoustical Society of America. – 2011. – Vol. 129 (5). – EL161-EL165.

20. Веденев А.И. Кочетов О.Ю. Иванов В.Н. Автономные гидроакустические станции для контроля уровня промышленного шума и сигналов сейсморазведки на морском шельфе // Доклады XII научной школы-семинара имени академика Л.М. Брежневских «Акустика океана», совмещенной с XXI сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 361-364.
21. Jensen F.B. Kuperman W.A. Porter M.B. Schmidt H. Computational Ocean Acoustics. Second Edition. – New York: Springer, 2011.
22. Buckingham M.J. Cross-correlation in band-limited ocean ambient noise fields // Journal of the Acoustical Society of America. – 2012. – Vol. 132, No. 4. – P. 2643-2657.
23. Roux P. Kuperman W.A. and the NPAL Group Extracting coherent wave fronts from acoustic ambient noise in the ocean // Journal of the Acoustical Society of America. – 2004. – Vol. 116 (4). – Part. 1. – P. 1995-2003.

REFERENCES

1. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008, establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive), *Official Journal of the European Union*, 2008, L164, pp. 19-40.
2. U.S. Commission on Ocean Policy. An Ocean Blueprint for the 21st Century. Final Report. Washington, DC. 2004.
3. McCarthy E. International Regulation of Underwater Sound. New York: Kluwer Academic Publisher, 2004.
4. Robinson S.P. Lepper P.A. Hazelwood R.A. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. NPL Good Practice Guide No. 133 / National Measurement Office, Marine Scotland. The Crown Estate. 2014. ISSN: 1368-6550.
5. Carey W.M. Evans R.B. Ocean Ambient Noise. Measurement and Theory. New York: Springer, 2011.
6. de Jong C.A.F. Ainslie M.A. Blacquièrre G. Report TNO-DV 2011 C251 Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing. The Hague. 2011.
7. Tyack P. Gordon J. Thompson D. Controlled Exposure Experiments to Determine the Effects of Noise on Large Marine Mammals, *Marine Technology Society Journal*, 2004, Vol. 37 (4), pp. 41-53.
8. Rutenko A.N., Gritsenko V.A. Monitoring antropogennykh akusticheskikh шумов на shel'fe o. Sakhalin [Monitoring antropogennykh akusticheskikh шумов на shel'fe ostrova Sachalin], *Akusticheskij zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2010, Vol. 56, No. 1, pp. 77-81.
9. Vedenev A.I. Kriterii i rezul'taty akusticheskogo monitoringa rayona kormleniya serykh kitov vblizi stroitel'stva trassy nefteprovoda na shel'fe o. Sakhalin [Criteria and results of acoustic monitoring of gray whale feeding area near pipeline construction at the sea shelf off Sakhalin island], *Doklady XII nauchnoy shkoly-seminara imeni akademika L.M. Brezhnevskikh «Akustika okeana», sovmeshchennoy s XXI sessiey Rossiyskogo akusticheskogo obshchestva* [Proceedings of the XII-th Brezhnevskikh's Conference "Ocean Acoustics"]. Moscow: GEOS, 2009, pp. 228-233.
10. National Research Council. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining when Noise Causes Biologically Significant Effects, Washington, DC: National Academies Press. 2005.
11. Simmonds M.P. Dolman S.J. Jasny M. Parsons E.C. M. Weilgart L. Wright A.J. Leaper R. Marine noise pollution-increasing recognition but need for more practical action, *Journal of Ocean Technology*, 2014, Vol. 9 (1), pp. 71-90.
12. Review of post-consent offshore wind farm monitoring data associated with licence conditions. A report produced for the Marine Management Organisation. MMO Project, 2014, No. 1031, pp. 194. ISBN: 978-1-909452-24-4.
13. Nathan D. Pirotta M.E. Barton T.R. Thompson P.M. Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals, *Marine Pollution Bulletin*, 2014, Vol. 78, pp. 85-95.
14. Problemy monitoringa prirodno-tehnicheskikh sistem shel'fovykh zon v svyazi s razvitiem neftegazovogo kompleksa Dal'nego Vostoka [Problems of monitoring natural-technical systems of offshore zones in connection with the development of oil and gas complex of the Far East], Ed. by Fatkulina A.A. Vladivostok: Izd-vo DVTGU, 2010, 332 p.

15. Gorovoy S.V. Ispol'zovanie trekhmernykh korrelyatsionnykh funktsiy gidroakusticheskikh shumov dlya tseley ekologicheskogo monitoringa vodnykh rayonov [Use 3D correlation functions of the hydroacoustic noise for environmental monitoring of aquatic areas], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 9 (146), pp. 69-75.
16. Review of post-consent offshore wind farm monitoring data associated with licence conditions. A report produced for the Marine Management Organisation, pp 194. MMO Project. No: 1031, 2014. ISBN: 978-1-909452-24-4.
17. McKenna M.F. Ross D. Wiggins S.M. Hildebrand J.A. Underwater radiated noise from modern commercial ships, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, Vol. 131 (1), pp. 92-103.
18. Andrew R.K., Howe B.M., Mercer J.A., Dzieciuch M.A. Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast, *Acoustics Research Letters Online*, 2002, Vol. 3 (2), pp. 65-70.
19. Chapman N.R. Price A. Low frequency deep ocean ambient noise trend in the Northeast Pacific Ocean, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2011, Vol. 129 (5), EL161-EL165.
20. Vedenev A.I. Kochetov O.Yu. Ivanov V.N. Avtonomnye gidroakusticheskie stantsii dlya kontrolya urovnya promyshlennogo shuma i signalov seysmorazvedki na morskoy shel'fe [Autonomous bottom hydro-acoustic stations for monitoring of industry noise level and seismic exploration at sea shelf], *Doklady XII nauchnoy shkoly-seminara imeni akademika L.M. Brekhovskikh «Akustika okeana», sovmeshchennoy s XXI sessiey Rossiyskogo akusticheskogo obshchestva* [Proceedings of the XII-th Brekhovskikh's Conference "Ocean Acoustics"]. Moscow: GEOS, 2009, pp. 361-364.
21. Jensen F.B. Kuperman W.A. Porter M.B. Schmidt H. Computational Ocean Acoustics. Second Edition. New York: Springer, 2011.
22. Buckingham M.J. Cross-correlation in band-limited ocean ambient noise fields, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, Vol. 132, No. 4, pp. 2643-2657.
23. Roux P. Kuperman W.A. and the NPAL Group Extracting coherent wave fronts from acoustic ambient noise in the ocean, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, Vol. 116 (4), Part 1, pp. 1995-2003.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор В.И. Короченцев.

Горовой Сергей Владимирович – Дальневосточный федеральный университет; e-mail: GorovoySV@mail.ru; 690650, г. Владивосток-ГСП, ул. Суханова, 8; тел.: +79147212186; кафедра приборостроения; доцент.

Кириянов Алексей Валерьевич – e-mail: kirianov.av@dvfu.ru; тел.: +79024814089; начальник управления развития Инженерной школы.

Желдак Евгений Михайлович – e-mail: zheldak@inbox.ru; тел.: +79024814089; ведущий инженер управления развития Инженерной школы.

Gorovoy Sergey Vladimirovich – Far Eastern Federal University; e-mail: GorovoySV@mail.ru; 8, Sukhanova street, Vladivostok-GSP, 690650, Russia; phone: +79147212186; the department of instrumentation; associate professor.

Kiryanov Alexey Valerievich – e-mail: kirianov.av@dvfu.ru; phone: +79024814089; head of department of advance.

Jeldak Eugeny Michailovich – e-mail: zheldak@inbox.ru; phone: +79024814089; leading engineer of department of advance.