

Экспериментальные оценки статистических характеристик высокочастотного обратного донного рассеяния

К. П. Львов,* А. А. Фомин

АО «Концерн «Океанприбор», Россия, 197376, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 46
(Статья поступила 26.06.2017; Подписана в печать 11.09.2017)

Экспериментальные данные были получены с использованием аппаратуры доплеровского лага установленного на катере, галсы — северная акватория Ладожского озера на глубинах более 100 м. Усиление на строе синхронного приема 4-х каналов было постоянно, отношение $c/\text{ш} \gg 1$. Получены коэффициенты вариации, пространственно временной корреляции. Оценки сравниваются для условий движения с небольшой скоростью и стопа катера. Анализируется связь оценок с верхним слоем дна, имеющая место в некоторых морях.

PACS: 43.35.+d, 43.30.+m, 43.60.+d УДК: 534.8, 519.24

Ключевые слова: акустика дна, обратное донное рассеяние, угол скольжения, вариация, корреляция.

ВВЕДЕНИЕ

В экспериментальных исследованиях рассеяния звука дном океана основное внимание уделяется энергетической характеристике — коэффициенту обратного донного рассеяния. Величина коэффициента зависит от углов падения и рассеяния, рельефа и строения дна, частоты [1, 2]. Согласно [1–3] также исследуются следующие статистические характеристики амплитуды (огibaющей) обратного донного рассеяния при тонально-импульсном излучении: коэффициенты вариации, временные и пространственные корреляции, гистограммы, фазовые соотношения. Например, в работе [3] рассмотрена математическая модель рассеяния и приведены экспериментальные оценки функции распределения и автокорреляции квадрата амплитуды для дистанций 800–3800 м, углов скольжения 2.5° – 16° и частот 1.8–8.1 кГц. Аппаратура состояла из приемно-излучающей антенны, буксируемой со скоростью 4 км/час и работающей как гидролокатор бокового обзора.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Экспериментальные работы проводились на Ладожском полигоне АО «Океанприбор» [4]. Использовалась аппаратура доплеровского лага — рабочая частота 250 кГц, длительность прямоугольных тональных импульсов излучения 32–128 мс. Приемно-излучающая система — двухсторонняя двухлучевая (схема «Янус»), раствор характеристик направленности 3° на уровне 0.7, угол скольжения звука на дно 62° . Уровни первых боковых лепестков излучающей антенны — 26 дБ, приемной антенны — 34 дБ. Общие сведения о доплеровских лагах можно найти, например, в [5]. Аппаратура была установлена на катере, галсы — северная акватория Ладожского озера на глубинах более 100 м. Мак-

симальная скорость катера около 3 м/с. Усиление на строе приема постоянно, отношение $c/\text{ш} \gg 1$. Оцифровка и запись эхосигналов производилась синхронно с 4-х линейных выходов усилителей промежуточной частоты с частотой дискретизации каждого канала приема 80.20 кГц с помощью устройства ЛА-2USB-14.

Эхосигналы доплеровского лага — обратное донное рассеяние, моностатический случай. Верхний слой донных осадков северной акватории Ладожского озера на глубинах более 100 м — слабоуплотненный глинистый ил (наил) мощностью 0.5–2 м [6]. Т. к. на рабочей частоте имеет место сильное поглощение звука, то эффективно озвученным и рассеивающим является тонкий приповерхностный слой. Толщина слоя обратно пропорциональна частоте. Выделение амплитуды (огibaющей) эхосигналов как огibaющей аналитического сигнала, получение оценок статистических характеристик и проверка на соответствие закону Рэлея по критериям Колмогорова–Смирнова и χ^2 производилось в среде MATLAB.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ

Оценки статистических характеристик получены для длительности импульса излучения 128 мс, что позволяет считать центральную часть эхосигналов полностью сформированной и стационарной [1, с. 81].

В таб. I приведены средние значения, среднеквадратичные отклонения (СКО) и вариации для 4-х каналов приема, 20-ти циклов излучение/прием (пингов) при дрейфе катера (типичная скорость около 0.5 м/с). Общая длительность реализаций более 10 с.

В таб. II приведены средние значения, среднеквадратичные отклонения (СКО) и вариации для 4-х каналов приема и 20-ти циклов излучение/прием при скорости катера 1.5–2.5 м/с. Общая длительность реализаций более 10 сек.

В таб. III и IV приведены коэффициенты пространственно временной корреляции центрированных амплитуд 4-х каналов приема для указанных выше записей.

*E-mail: k.lwow@mail.ru

Таблица I: Средние значения, среднеквадратичные отклонения (СКО) и вариации для 4-х каналов приема, 20-ти циклов излучение/прием (пингов) при дрейфе катера (типичная скорость около 0.5 м/с)

Пинг	Среднее Канал				СКО Канал				Вариация Канал			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0.19	0.25	1.00	0.50	0.02	0.02	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.21
2	0.68	0.41	0.55	0.10	0.08	0.05	0.15	0.03	0.12	0.12	0.28	0.27
3	0.64	0.20	0.43	0.28	0.09	0.04	0.05	0.03	0.14	0.19	0.12	0.11
4	0.34	0.53	0.71	0.30	0.07	0.06	0.06	0.05	0.20	0.11	0.09	0.16
5	0.11	0.59	1.00	0.40	0.02	0.08	0.08	0.04	0.21	0.14	0.08	0.11
6	0.38	0.31	0.76	0.58	0.04	0.04	0.19	0.08	0.10	0.13	0.25	0.13
7	0.60	0.63	0.50	0.57	0.06	0.09	0.04	0.07	0.10	0.14	0.08	0.11
8	0.30	0.41	0.65	0.15	0.01	0.05	0.11	0.02	0.05	0.12	0.18	0.15
9	0.41	0.34	0.36	0.13	0.10	0.02	0.18	0.04	0.24	0.07	0.49	0.28
10	0.20	0.25	0.29	0.86	0.03	0.02	0.09	0.16	0.16	0.07	0.29	0.19
11	0.34	0.56	0.43	0.32	0.05	0.07	0.05	0.06	0.14	0.12	0.11	0.18
12	0.14	0.12	0.42	0.44	0.04	0.04	0.05	0.08	0.32	0.31	0.12	0.18
13	0.12	0.41	0.61	0.48	0.03	0.06	0.15	0.05	0.21	0.14	0.25	0.11
14	0.37	0.40	0.62	0.47	0.03	0.06	0.08	0.06	0.09	0.15	0.12	0.13
15	0.41	0.41	0.66	0.88	0.09	0.06	0.15	0.10	0.21	0.14	0.24	0.11
16	0.21	0.59	0.40	0.46	0.02	0.06	0.06	0.13	0.09	0.10	0.14	0.28
17	0.29	0.70	0.47	0.58	0.05	0.11	0.06	0.04	0.17	0.16	0.12	0.06
18	0.32	0.35	0.14	0.70	0.03	0.05	0.03	0.10	0.09	0.16	0.22	0.14
19	0.42	0.50	0.51	0.34	0.05	0.03	0.07	0.06	0.11	0.06	0.13	0.19
20	0.18	0.53	0.67	0.18	0.02	0.08	0.12	0.06	0.12	0.15	0.17	0.31

Таблица II: Средние значения, среднеквадратичные отклонения (СКО) и вариации для 4-х каналов приема и 20-ти циклов излучение/прием при скорости катера 1.5–2.5 м/с

Пинг	Среднее Канал				СКО Канал				Вариация Канал			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0.26	0.75	0.37	0.48	0.09	0.12	0.23	0.25	0.35	0.16	0.63	0.51
2	0.44	0.42	0.39	0.41	0.08	0.18	0.23	0.14	0.19	0.43	0.59	0.33
3	0.26	0.57	0.37	0.43	0.14	0.30	0.18	0.20	0.54	0.52	0.48	0.46
4	0.37	0.43	0.37	0.52	0.13	0.16	0.24	0.25	0.34	0.37	0.64	0.48
5	0.32	0.39	0.44	0.46	0.13	0.15	0.17	0.24	0.40	0.38	0.40	0.52
6	0.38	0.35	0.28	0.58	0.16	0.19	0.11	0.22	0.41	0.54	0.41	0.38
7	0.31	0.64	0.60	0.35	0.14	0.28	0.24	0.20	0.45	0.43	0.39	0.59
8	0.30	0.56	0.34	0.24	0.20	0.10	0.16	0.12	0.66	0.18	0.46	0.48
9	0.24	0.62	0.29	0.15	0.11	0.28	0.15	0.07	0.48	0.45	0.51	0.45
10	0.37	0.30	0.40	0.33	0.15	0.20	0.19	0.12	0.39	0.68	0.47	0.37
11	0.37	0.34	0.48	0.33	0.23	0.17	0.13	0.10	0.61	0.49	0.27	0.31
12	0.26	0.44	0.30	0.21	0.13	0.20	0.13	0.07	0.51	0.45	0.44	0.35
13	0.29	0.32	0.44	0.26	0.17	0.12	0.19	0.12	0.58	0.39	0.43	0.45
14	0.33	0.41	0.34	0.19	0.15	0.18	0.15	0.09	0.47	0.44	0.44	0.47
15	0.26	0.54	0.38	0.21	0.15	0.24	0.17	0.13	0.56	0.44	0.46	0.62
16	0.39	0.41	0.37	0.20	0.11	0.14	0.28	0.10	0.29	0.35	0.74	0.49
17	0.32	0.44	0.54	0.21	0.11	0.19	0.36	0.08	0.36	0.44	0.67	0.38
18	0.26	0.46	0.38	0.14	0.14	0.14	0.18	0.09	0.54	0.30	0.49	0.63
19	0.21	0.31	0.51	0.26	0.14	0.13	0.29	0.14	0.69	0.41	0.58	0.53
20	0.40	0.37	0.27	0.35	0.28	0.19	0.12	0.15	0.46	0.50	0.44	0.43

Таблица III: Коэффициенты пространственно-временной корреляции центрированных амплитуд 4-х каналов приема для указанных выше записей

Пинг	Каналы						Среднее
	1,2	1,3	1,4	2,3	2,4	3,4	
1	0.34	0.30	0.26	0.66	0.78	0.87	0.54
2	0.82	0.95	0.36	0.91	0.31	0.28	0.61
3	0.66	0.89	0.86	0.65	0.65	0.80	0.75
4	0.94	0.84	0.78	0.85	0.86	0.74	0.84
5	0.42	0.57	0.59	0.82	0.75	0.80	0.66
6	0.60	0.82	0.83	0.81	0.79	0.94	0.80
7	0.96	0.82	0.86	0.76	0.92	0.62	0.82
8	0.27	0.29	0.29	0.90	0.48	0.44	0.45
9	0.28	0.97	0.92	0.33	0.36	0.91	0.63
10	0.34	0.71	0.74	0.34	0.33	0.92	0.56
11	0.93	0.74	0.73	0.69	0.82	0.59	0.75
12	0.82	0.44	0.94	0.35	0.82	0.46	0.64
13	0.70	0.75	0.45	0.95	0.75	0.69	0.72
14	0.81	0.78	0.84	0.79	0.94	0.78	0.82
15	0.93	0.92	0.92	0.79	0.86	0.95	0.90
16	0.37	0.46	0.37	0.69	0.92	0.73	0.59
17	0.92	0.75	0.57	0.69	0.59	0.59	0.69
18	0.79	0.30	0.89	0.31	0.91	0.31	0.59
19	0.85	0.89	0.77	0.84	0.86	0.84	0.84
20	0.37	0.36	0.53	0.89	0.41	0.58	0.52

Таблица IV: Коэффициенты пространственно-временной корреляции центрированных амплитуд 4-х каналов приема для указанных выше записей

Пинг	Каналы						Среднее
	1,2	1,3	1,4	2,3	2,4	3,4	
1	0.40	0.42	0.41	0.48	0.38	0.51	0.43
2	0.25	0.28	0.43	0.74	0.51	0.52	0.46
3	0.43	0.61	0.57	0.39	0.49	0.76	0.54
4	0.52	0.54	0.41	0.41	0.58	0.81	0.55
5	0.40	0.52	0.38	0.47	0.58	0.37	0.45
6	0.35	0.49	0.70	0.79	0.51	0.48	0.55
7	0.44	0.56	0.78	0.76	0.54	0.76	0.64
8	0.54	0.53	0.66	0.52	0.73	0.56	0.59
9	0.60	0.67	0.35	0.57	0.42	0.41	0.60
10	0.52	0.60	0.43	0.46	0.30	0.39	0.45
11	0.78	0.62	0.48	0.49	0.49	0.34	0.53
12	0.61	0.66	0.46	0.68	0.49	0.36	0.54
13	0.51	0.30	0.60	0.50	0.62	0.35	0.48
14	0.58	0.72	0.48	0.70	0.39	0.41	0.55
15	0.49	0.43	0.50	0.43	0.52	0.43	0.47
16	0.66	0.48	0.52	0.42	0.68	0.49	0.54
17	0.42	0.47	0.44	0.39	0.38	0.56	0.44
18	0.34	0.40	0.54	0.40	0.44	0.56	0.45
19	0.39	0.39	0.70	0.43	0.42	0.45	0.46
20	0.41	0.84	0.81	0.49	0.38	0.60	0.59

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средние значения вариаций равны соответственно 0.16 (таб. 1) и 0.46 (таб. 2). Для распределения Рэлея — 0.52, что говорит о несоответствии распределения огибающей закону Рэлея. Проверка тестами Колмогорова–Смирнова $kstest$ и по критерию χ^2 $chi2gof$ на соответствие распределению Рэлея, как правило, давало отрицательный результат.

Из различия средних вариаций следует, что имеет место, ярко выраженное увеличение в 2–3 раза временных флуктуаций огибающих эхосигналов при движении катера (приемно–излучающей системы) по отношению к дрейфу катера.

Из рассмотрения средних значений (таб. 1 и 2) видно, что имеет место горизонтальная анизотропия ко-

эффициента обратного донного рассеяния, что проявляется в уровне эхосигналов.

Средние значения коэффициентов пространственно временной корреляции центрированных амплитуд каналов приема 1–2, 1–3, 1–4, 2–3, 2–4 и 3–4 в случае дрейфа катера равны 0.69 и движения катера 0.51. Из рассмотрения значений коэффициента взаимной корреляции следует, что согласно соотношению Чэддока связь заметная. Значения коэффициентов также подтверждают наличие анизотропии обратного донного рассеяния.

Полученные результаты могут быть распространены на шельфовые районы морей, например, Баренцева и Балтийского морей, имеющих подобный верхний слой донных осадков.

-
- [1] Воловов В. И. Отражение звука от дна океана. М.: Наука, 1993.
[2] Jackson D. R., Richardson M. D. High-Frequency Seafloor Acoustics. Springer. N.Y., 2007.
[3] Кроутер П. А. Акустика дна океана. Пер. с англ. М.: Мир, 1984, с. 413–425.

- [4] www.oceanpribor.ru
[5] Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника. СПб.: Наука, 2004.
[6] Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас. СПб.: Нестор–История, 2015.

Experimental estimation of statistical characteristics of high–frequency bottom back scattering

K. P. Lwow^a, A. A. Fomin

JSC «Concern «Oceanpribor». Chkalovsky pr., 46, Saint-Petersburg, 197376, Russia
E-mail: ^ak.lwow@mail.ru

Experimental data was obtained using the Doppler log installed on the boat tacks — North water area of Ladoga lake at depths greater than 100 m. The Gain at the gate of the synchronous receive 4 channels was constant, the ratio $s/n \gg 1$. The obtained coefficients of variation, temporal and spatial correlation. Estimates are compared to traffic conditions with a small velocity and stop the boat. Examines the relationship of ratings with the top layer of the bottom, having in some seas.

PACS: 43.35.+d, 43.30.+m, 43.60.+d

Keywords: acoustics, bottom, bottom back scattering, grazing angle, variation, correlation.

Received 26 June 2017.

Сведения об авторах

1. Львов Константин Петрович — вед. инженер–программист; тел.: (812) 499-74-22, e-mail: k.lwow@mail.ru.
 2. Фомин Анатолий Анатольевич — вед. инженер; тел.: (812) 499-75-37.
-