

УДК 551.46:534.222

**В.И. Бабий**, к.ф.- м.н., с.н.с.

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь (Украина)

## **СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ**

Рассмотрены дополнительные флуктуации параметров термодинамического состояния морской воды, обусловленные акустическими полями океана. Дано адиабатическое уравнение состояния, описывающее этот эффект. Приведены количественные оценки барических производных адиабатических уравнений состояния морской воды. Описана простая спектральная модель флуктуаций параметров состояния и собственных инструментальных шумов гидрофизических измерителей.

АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ, УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ, ФЛУКТУАЦИИ, СПЕКТРЫ

**Введение.** Общеизвестно, что моделирование является одним из способов изучения и познания мира, формой накопления, систематизации и передачи знаний. Существуют различные модели: физические, математические и смешанные. Считается, что идеальная модель – это сам объект (оригинал). Наиболее важными и эффективными признаны математические модели. Этому способствует стремительное развитие вычислительной техники и математических методов имитационного моделирования.

Абстракция – одна из движущих сил науки. В абстрактных математических моделях всегда стремятся выделить наиболее существенные стороны реального объекта исследования и пренебрегают менее значимыми свойствами этого объекта, несущественными при решении данной задачи. Очевидно, что математические модели не могут описывать реальные системы полностью, а лишь приближенно. Следовательно, математическое моделирование такой сложной природной системы, как морская среда, возможно только в рамках определенных гипотез, допущений и ограничений. При этом мы неизбежно сталкиваемся с дуализмом: идеализация и реальность, простота и сложность, детерминизм и случайность, бесконечность и финитность, непрерывность и дискретность, и т.п. Один и тот же объект может быть описан многими математическими моделями различной сложности в зависимости от решаемых задач. Моделей много, а действительность одна (теорий много, а истина одна). Правильно созданная новая модель не может противоречить уже известным и признанным моделям. Она обязана опираться на априорную информацию – фундамент уже полученного знания. Модель, которая строится для имитации объекта исследования, должна быть достаточно простой для решения данной задачи и иметь ясный физический смысл. Здесь важны критерии, в частности, самый главный критерий – адекватность модели объекту исследования. Понятие «адекватность» относительно и имеет свои пределы. Например, задание погрешности (неопределенности) относительно выбранной системы характеристик. Основная ошибка при математическом моделировании – распространение полученного в рамках модели результата за границы принятых допущений (в частности, расширение области изменчивости аргументов).

---

© В.И. Бабий, 2013

ISSN 1815-8277. Гідроакустичний журнал «Проблеми, методи і засоби використання Мирового океану»

Хотя природа по сути своей дискретна, но мы принимаем для описания нашей морской гидродинамической системы модель «сплошной среды», которая состоит из множества «жидких частиц», где каждая «жидкая частица», в свою очередь, есть физический вакуум (пустота), заполненный очень большим числом взаимодействующих дискретных микрочастиц – атомов и молекул вещества. Термины «сплошная среда» и «жидкая частица», как фундаментальные понятия, широко используют в гидромеханике и термодинамике.

Для описания состояния морской среды как континуума, привлекают также понятие «гидрофизического поля» различных физических параметров. Взаимосвязь этих полей выражается, в частности, уравнениями гидродинамики и термодинамики, которые, в свою очередь, являются математическими моделями различной сложности. В указанных предположениях поля параметров состояния морской среды полагают непрерывными и случайными, а их пространственно-временную структуру и ее изменчивость описывают методами теории вероятностей и математической статистики. При этом результаты исследования непрерывных процессов и полей в настоящее время представляют исключительно в дискретном виде – решетчатыми финитными функциями (преимущественно эквидистантными цифровыми отсчетами – временными рядами конечной длины, цифровыми массивами данных и т.п.) со всеми присущими им особенностями. Возникающие при этом специфические погрешности квантования по уровню, дискретизации по времени и пространству, перекрытия спектров (элиазинг), а также погрешности конечности (финитности) выборок, погрешности вычислений и т.п., должны быть достаточно малы по сравнению с результирующей погрешностью расчетов или измерений этих процессов и полей [1, 2].

Известно, что все гидрофизические поля по своей природе случайны. Наиболее полное и универсальное, но весьма громоздкое статистическое описание случайных процессов и полей дают многомерные распределения вероятностей их значений в различных совокупностях аргументов [1]. Однако на практике используют не сами распределения вероятностей, а конечный набор их числовых характеристик. Так, в предположении локальной однородности и нормальности распределения вероятностей, статистические свойства рассматриваемых гидрофизических полей и их взаимосвязь достаточно полно описывает симметричная квадратная матрица любых из следующих взаимно обусловленных числовых характеристик (моментов распределения): корреляционных (ковариационных), структурных или спектральных функций, которые эквивалентны друг другу по содержащейся в них информации. Применение тех или иных функций определяется их физическим смыслом, наглядностью представления и удобством дальнейшего использования. В нашем случае этому лучше отвечают спектральные функции, относящиеся к энергетическим характеристикам гидрофизических полей и процессов, которые и будем рассматривать далее как математическую модель параметров термодинамического состояния морской среды.

**Комплексная спектральная модель.** В Мировом океане одновременно существуют взаимосвязанные поля самой различной природы: гидротермодинамические, акустические, электромагнитные (включая оптические), гидрохимические, биологические, гравитационные, радиоактивности и т.д. Хотя, по сути, большинство этих полей относятся к гидрофизическим, выделим из них два вида гидромеханических полей, которые,

согласно принятой терминологии, условно назовем гидрофизическими и гидроакустическими [3]. В совокупности они характеризуют термодинамическое состояние морской среды. Аргументы этих полей четырехмерны – три пространственные координаты и время. Принципиальное различие между этими полями состоит в том, что в гидроакустических полях информация и механическая энергия передаются в среде со скоростью звука без существенного переноса массы. Звуковые волны при распространении в морской среде взаимодействуют не только между собой (это область нелинейной акустики), но они взаимодействуют и со всеми другими полями, существующими в океане. При этом возникает двойкий эффект (дуализм). С одной стороны, звук воздействует на среду, изменяя ее состояние, а с другой стороны, флуктуации параметров состояния морской среды модулируют параметры распространяющихся в ней звуковых волн так, что они сами становятся источником информации о состоянии среды. Это принципиальная физическая основа акустических методов исследования океана посредством решения обратных задач гидроакустики. Флуктуации гидрофизических (не акустических) полей обусловлены гидротермодинамическими процессами, описываемыми, как правило, моделями несжимаемой жидкости. Дополнительные флуктуации гидрофизических полей (гидроакустическая составляющая) обусловлены акустическими полями океана, которые описываются волновыми уравнениями сжимаемой жидкости [1–3]. При этом частотные спектры флуктуаций этих полей перекрываются, а оба процесса протекают одновременно. Предположим, что выполняется принцип суперпозиции и гидродинамические флуктуации носят локальный характер, а гидроакустическая составляющая флуктуаций на низких частотах – нелокальный (дальнодействующий) характер, особенно на больших глубинах океана. Полагаем также акустическое излучение исходным. В этих предположениях все гидротермодинамические, гидрохимические, биологические и другие процессы в океане протекают на фоне акустических процессов и полей – своего рода пьедестале.

Практически все сведения о реальных гидрофизических полях в океане получены в результате натуральных наблюдений. Рассмотрим наиболее распространенную процедуру одноточечных (прямых или косвенных) измерений параметров термодинамического состояния морской среды в эйлеровой системе координат, где аргументом является время  $t$ . В рамках модели сплошной среды из совокупности многомерных аналоговых (непрерывных) океанологических полей различной природы, действующих на входе измерительного устройства, в процессе измерения происходит их селекция, т.е. выделение отклика заданного поля, которое усредняется (фильтруется) датчиком с соответствующей пространственно-временной весовой (аппаратной) функцией и преобразуется в одномерный сигнал, представляемый, как правило, в цифровом виде на выходе каждого измерительного канала. Таким образом, результатом прямого измерения любого гидрофизического параметра  $X$  в океане реальным одноканальным измерителем всегда является приведенная к его входу сумма трех составляющих:

$$X_{\text{и}}(t) = X_{\text{г}}(t) + X_{\text{а}}(t) + X_{\text{ш}}(t), \quad (1)$$

где  $X_{\text{г}}(t)$  – значения гидрофизических (не акустических) полей «безмолвного» океана;

$X_a(t)$  – дополнительные флуктуации гидрофизических полей, обусловленные акустическими полями морской среды;

$X_{ш}(t)$  – значения собственных шумов (погрешности) измерителя.

Причем «гидрофизическое» слагаемое  $X_r(t)$  имеет случайную (флуктуационную) и постоянную (среднее значение параметра  $X_r$ ) составляющие. Слагаемое  $X_{ш}(t)$ , наряду со случайной составляющей, также имеет постоянную составляющую – основную и дополнительную систематическую погрешность  $\Delta_0(X)$  измерителя согласно [4, 5]. При этом одноточечный датчик (в том числе и гидрофон) не обладает избирательностью к слагаемым  $X_r(t)$  и  $X_a(t)$ , а реагирует только на их сумму. Поэтому разделение флуктуаций акустического и неакустического происхождения возможно на основе различия их дисперсионных зависимостей и различных радиусов пространственной корреляции и когерентности гидродинамических и гидроакустических полей, а также различия потоков энергии (вектора Умова) и траекторий флуктуаций параметров состояния, изображаемых на  $T, S$  – диаграмме. Такое разделение осуществимо при целевых многоточечных комплексных синхронных измерениях различных параметров состояния морской среды высокочувствительными гидрофизическими средствами измерений.

В рамках бинарной модели морской воды как двухкомпонентного раствора (чистая дистиллированная вода+квазиоднородная соль) любой скалярный параметр  $X$  ее термодинамического состояния является функцией трех независимых первичных гидрологических параметров: температуры  $T$ , солёности  $S$  и давления  $P$ :

$$X = X(T, S, P). \quad (2)$$

Традиционные уравнения (2) описывают состояние морской воды в статическом (стационарном) режиме, т.к. они получены при измерении параметров  $X$  по изотермам и изобарам при фиксированном (заданном) параметре  $S$ , преимущественно (in vitro) в лабораторных условиях локального термодинамического равновесия [1]. Тогда как при динамических измерениях in situ, для расчета флуктуаций параметров состояния  $X$  и их статистических характеристик в звуковом поле, необходимо знание барических градиентов соответствующих адиабатических уравнений термодинамического состояния морской среды.

Для расчета влияния поля звукового давления  $P_a(t)$  на параметры термодинамического состояния морской воды рассмотрим адиабатические уравнения состояния для параметров  $X$ , которые на основе выражения (2) запишем в виде:

$$X_a(t) = X([T + (\partial T/\partial P)_{s,\eta} P_a(t)], S, [P_r + P_a(t)]), \quad (3)$$

где  $(\partial T/\partial P)_{s,\eta}$  – адиабатический барический градиент температуры;

$\eta$  – энтропия;

$P_r$  – гидростатическое давление.

В частном случае модели «безмолвного» (не шумящего) океана, т.е. при  $P_a(t) \equiv 0$ , адиабатическое уравнение (3) переходит в изотермическое уравнение (2).

В звуковых полях малой амплитуды, например, собственных акустических шумах океана [1, 3], можно в выражении (3) пренебречь членами разложения выше первого порядка. Поэтому для таких волн запишем в первом (линейном) приближении выражение для временных флуктуаций параметра  $\Delta X_a(t)$  в зависимости от  $P_a(t)$  в виде:

$$\Delta X_{a1}(t) \approx [(\partial X/\partial P)_{T,S} + (\partial X/\partial T)_{S,P} (\partial T/\partial P)_{S,\eta}] P_a(t) = (\partial X/\partial P)_{S,\eta} P_a(t). \quad (4)$$

В табл. 1 приведены оценки абсолютных и относительных значений адиабатических барических градиентов  $(\partial X/\partial P)_{S,\eta}$  параметров состояния: температуры  $T$ , скорости звука  $C$ , удельной электрической проводимости  $\chi$ , показателя преломления света  $n$ , плотности  $\rho$  морской воды при  $S = 35$  епс, рассчитанные согласно (3), (4) по данным работ [1, 3].

Таблица 1 – Адиабатические барические градиенты параметров состояния морской воды

Параметры	Абсолютные значения	Относительн. $10^{-10} (\text{Па})^{-1}$
Температура $T$ , К	$(\partial T/\partial P) = (0.3 \div 1.8) 10^{-8}$ К/Па	$T^{-1} (\partial T/\partial P) = 0.1 \div 0.6$
Скорость звука $C$ , м/с	$(\partial C/\partial P) = 1.7 \cdot 10^{-6}$ м/(с·Па)	$C^{-1} (\partial C/\partial P) = 10 \div 11$
Электропров. $\chi$ , См/м	$(\partial \chi/\partial P) = 1 \cdot 10^{-7}$ См/(м·Па)	$\chi^{-1} (\partial \chi/\partial P) = 8 \div 13$
Показатель преломл. $n$	$(\partial n/\partial P) = 1.3 \cdot 10^{-10}$ (Па) $^{-1}$	$n^{-1} (\partial n/\partial P) \approx 1$
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$(\partial \rho/\partial P) = 4.4 \cdot 10^{-7}$ кг/(м <sup>3</sup> ·Па)	$\rho^{-1} (\partial \rho/\partial P) \approx 4.3$

Эти оценки барических градиентов нужны для вычисления эквивалентных флуктуаций параметров состояния, расчета спектров и дисперсий этих флуктуаций согласно выражениям (3), (4), а также для ранжирования влияния акустических шумов на гидрофизические поля, расчета чувствительности параметрических приемников звука и отношения (сигнал/шум) при измерениях [4, 5]. Адиабатические барические градиенты термодинамических параметров состояния морской среды, наряду со скоростью звука, – это «звенья цепи», связывающей гидроакустику и гидрофизику [2].

Так, полагая, что элемент объема морской среды озвучивается суперпозицией звуковых волн, приходящих с различных направлений, легко выразить спектр дополнительных временных флуктуаций любого гидрофизического параметра  $\Delta X_{a1}(t)$  в морской среде посредством адиабатических барических градиентов через спектр звукового давления  $S_p(f)$  собственных акустических шумов океана [1, 3]:

$$S_{xa}(f) = (\partial X/\partial P)_{S,\eta}^2 \cdot S_p(f). \quad (5)$$

При косвенных измерениях параметров состояния  $Y$ , на основе  $m$  прямо измеряемых параметров  $X_n(t)$  по выражению (1), их вычисляют согласно функционалам:

$$Y = Y(X_1, X_2, \dots, X_m). \quad (6)$$

Если число компонентов модели морской воды больше двух, то необходимое число независимых переменных в выражении (6) возрастает согласно «правилу фаз» Гиббса [1].

Поскольку во все прямо измеряемые параметры входит составляющая  $X_a(t)$ , обусловленная акустическими шумами океана, то в косвенно определяемых параметрах состояния появляются взаимные временные корреляции, а, следовательно, и взаимные спектры. Поэтому для любого параметра термодинамического состояния морской среды всегда будет наблюдаться отличная от нуля взаимная временная корреляция гидрофизического поля с акустическим полем океана. Следовательно, акустический шум морской среды (внешний шум) увеличивает взаимную корреляцию прямо и косвенно измеряемых (регистрируемых) параметров состояния, особенно в области инфразвуковых частот. И напротив, инструментальные погрешности измерительных каналов (внутренние шумы)  $X_{ш}(t)$  всегда вызывают декорреляцию измеренных параметров, т.е., оба эффекта при измерениях противоположны. Эти особенности могут быть использованы при приеме звука неакустическими методами, а также для разделения звука и псевдозвука.

В метрологии (как науке об измерениях) принято различать два вида измерений: технические и метрологические. Техническим измерениям в океанологии соответствуют натурные измерения, т.е., определение гидрофизических характеристик морской среды в рабочих условиях *in situ*, а метрологическим – определение метрологических характеристик средств измерения, преимущественно в лабораторных (нормальных) условиях, *in vitro*. Поэтому при технических измерениях в (1) должно выполняться неравенство:

$[X_{г}(t) + X_a(t)] \gg X_{ш}(t)$ , а при метрологических измерениях наоборот, должно выполняться неравенство:  $[X_{г}(t) + X_a(t)] \ll X_{ш}(t)$ . Аналогичные неравенства записываются и для дисперсий и средних квадратических отклонений (СКО) слагаемых из (1).

Примером технических измерений *in situ* могут служить натурные измерения параметров термодинамического состояния прецизионным СТД – зондом на больших глубинах в Черном море, где очень слаба изменчивость среды, и значения флуктуаций  $[X_{г}(t) + X_a(t)]$  и  $X_{ш}(t)$  могут быть соизмеримы [1, 4]. Результаты метрологических измерений  $X_{ш}(t)$  *in vitro* с целью определения случайной составляющей инструментальной погрешности гидроакустического измерителя скорости звука (ГИСЗ), приведены ниже [4, 5].

На рис. 1 изображена полученная экспериментально гистограмма случайной составляющей инструментальной погрешности (шумов) время-пролетного измерителя скорости звука и ее аппроксимация нормальным законом распределения плотности вероятностей (сплошная линия). Отметим «усеченность» распределения, а также отсутствие выбросов и сбоев (промахов). Измерения выполнены в дистиллированной воде в условиях локального термодинамического равновесия в пассивном термостате при  $T = \text{const}$  и нормальном атмосферном давлении  $P_r = P_0$ , т.е., при  $C(t) = \text{const}$ . Вычисленное значение СКО  $\sigma_c \approx 2 \cdot 10^{-4}$  м/с реализации выходного сигнала, приведенного к входу ГИСЗ, является выборочной оценкой СКО случайной составляющей инструментальной погрешности сверху, в предположении выполнения неравенства  $[X_{г}(t) + X_a(t)] \ll X_{ш}(t)$ .

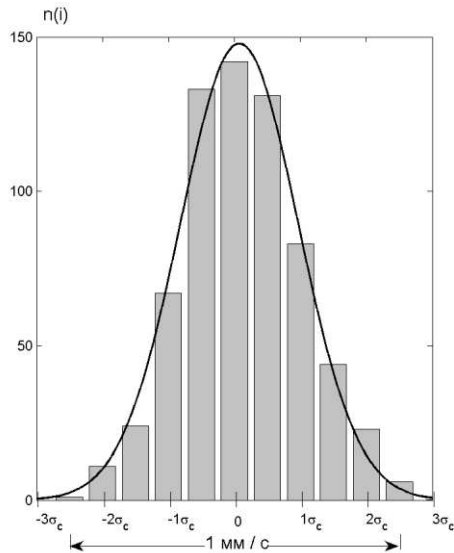


Рисунок 1 – Гистограмма случайной погрешности время-пролетного гидроакустического измерителя скорости звука МГИ 4603. СКО  $\sigma_c = 2 \cdot 10^{-4}$  м/с; интервал (bin) –  $1 \cdot 10^{-4}$  м/с

График, изображенный на рис.1, можно рассматривать как экспериментальное подтверждение предположения о близости распределения суммы шумов различной природы к нормальному закону (как следствие центральной предельной теоремы теории вероятностей).

Оценка сверху эквивалентного СКО нестабильности температуры в пробе воды в термостате при  $(\partial C / \partial T) \approx 3$  м/(с·К) дает значение  $\sigma_T \leq 0.06$  мК, которому соответствует относительная нестабильность  $(\sigma_T / T_a) \leq 2 \cdot 10^{-7}$ , где  $T_a \approx 300$  К. Это свидетельствует о возможности применения такого измерителя в прецизионной акустической термометрии.

Отметим, что данная погрешность соизмерима с относительной случайной погрешностью воспроизведения температуры основной реперной точки международной термодинамической шкалы МТШ - 90 государственным первичным эталоном, где СКО температуры тройной точки воды (ТТВ) составляет  $\sigma_T = 0.05$  мК и ее относительная случайная погрешность  $(\sigma_T / T_a) \approx 2 \cdot 10^{-7}$ ,  $T_a = 273$  К. Такая высокая пороговая чувствительность средств измерения необходима, например, при натуральных исследованиях структуры гидрофизических полей и процессов обмена в глубоководной части Черного моря [4].

В предположении локальной однородности и нормального распределения вероятностей, статистические свойства рассматриваемых выше процессов (одновременное измерение двух составляющих гидрофизического поля одноканальным шумящим прибором) достаточно полно описывает симметричная квадратная спектральная матрица:

Соответственно, оценка относительной случайной погрешности (собственных шумов) этого измерителя скорости звука сверху есть  $(\sigma_c / C) \leq 1.3 \cdot 10^{-7}$ . При этом СКО погрешности шумов квантования  $\sigma_{кв} \approx 0.4 \text{ bin} = 4 \cdot 10^{-5}$  м/с достаточно мало по сравнению со значением  $\sigma_c$ . Однако оценка  $\sigma_c$ , согласно выражению (1), характеризует в совокупности собственный шум прибора, акустический шум среды и температурную нестабильность рабочей жидкости, т.е. пробы воды в термостате.

Поэтому результирующее распределение (рис.1) является композицией функций распределения плотности вероятностей слагаемых в выражении (1), т.к. для независимых случайных величин функция плотности вероятности их суммы равна свертке плотностей вероятностей слагаемых (1) и шумов квантования (методической погрешности).

$$\left| \begin{array}{ccc} \dots\dots\dots & & \\ S_{xг}(f) & S_{хаг}(f) & S_{хшг}(f) \\ S_{xга}(f) & S_{ха}(f) & S_{хша}(f) \\ \dots\dots\dots & & \\ S_{xгш}(f) & S_{хаш}(f) & S_{хшш}(f) \end{array} \right|$$

где  $S_{xг}(f)$  – спектр флуктуаций гидрофизических (не акустических) полей «безмолвного» океана;

$S_{ха}(f)$  – спектр флуктуаций гидрофизических полей, обусловленных акустическими шумами океана;

$S_{xга}(f)$  и  $S_{хаг}(f)$  – взаимные спектры этих флуктуаций;

$S_{хшш}(f)$  – спектр собственных шумов гидрофизического измерителя параметра X;

$S_{xгш}(f)$ ,  $S_{хшг}(f)$  и  $S_{хаш}(f)$ ,  $S_{хша}(f)$  – взаимные спектры флуктуаций гидрофизических полей и шумов измерителя, они характеризуют процессы взаимодействия измерителя и среды.

Важной характеристикой среды служит также спектральное отношение  $F_{xга}(f) = S_{xг}(f) / S_{ха}(f)$ . Элементы матрицы, очерченные пунктиром, описывают статистические характеристики собственно морской среды независимо от средств измерения, и при натурных измерениях их расчет является одной из задач исследования. Следовательно, матрица, очерченная пунктиром, и есть искомая спектральная модель прямо измеряемых параметров термодинамического состояния морской среды. Ей соответствуют идеальные измерения, где  $X_{ш}(t) \equiv 0$  и  $S_{хшш}(f) \equiv 0$ . Если число прямо или косвенно одновременно измеряемых параметров состояния обозначим  $k$ , то при  $k > 1$  размер матрицы, характеризующей собственно морскую среду резко возрастает и составит  $2k \times 2k$ , а размер полной матрицы становится равным  $3k \times 3k$ . Например, при типичном для зонда CTD значении  $k = 3$  полная матрица содержит 81 элемент.

Эти спектральные отношения могут составить предмет отдельного самостоятельного исследования морской среды в целевых натурных экспериментах, поскольку они существенны при обнаружении, классификации и изучении аномалий гидрофизических и гидроакустических полей естественного и искусственного происхождения и их взаимосвязи. Именно они определяют предел отношения (сигнал / шум) при гидрофизических и гидроакустических измерениях, в частности в параметрических приемниках звука [5].

### Выводы

1. Все гидрофизические поля океана рандомизированы подводными акустическими шумами. Это явление носит глобальный характер и отражает процессы взаимодействия в системе литосфера – гидросфера – атмосфера. Следовательно, все гидрофизические, гидрохимические, биологические и другие процессы в морской среде протекают на фоне этих дополнительных флуктуаций параметров состояния.

2. Любой гидрофизический измеритель, наряду с собственными инструментальными шумами, всегда регистрирует в морской среде сумму гидрофизических и дополнительных флуктуаций параметров состояния, обусловленных акустическими шумами океана.



3. Элементы спектральной матрицы (спектральной модели) гидрофизических и гидроакустических составляющих параметров термодинамического состояния и их соотношения характеризуют свойства самой среды, независимо от средств измерения.

4. Результаты выполненного исследования могут быть использованы при разработке новых типов морских измерительных систем, методов измерения, интерпретации данных измерений, при анализе гидрофизических и акустических процессов и полей в океане.

### Литература

1. Бабий В.И. Мелкомасштабная структура поля скорости звука в океане / Бабий В.И. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 200 с.
2. Бабий В.И. Скорость звука как связующее звено гидрофизики и гидроакустики / Бабий В.И. // Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана: Сборник докладов Второй международной научно-практической конференции / НАН Украины, Научно-технический центр панорамных акустических систем. – Запорожье, 2008. – С. 113 – 121.
3. Бабий В.И. Минимальные уровни флуктуаций гидрофизических полей океана / Бабий В.И., Родионов А.А. // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2012. – С. 443 – 446.
4. Бабий В.И. Проблемы и перспективы измерения скорости звука в океане / Бабий В.И. (Серия *Современные проблемы океанологии*. Выпуск № 7 ). Морской гидрофизический институт НАН Украины. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2009. – 142 с.
5. Бабий В.И. Специфика гидрофизических измерений в океане / Бабий В.И. // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы Х111 Международной научно-технической конференции «МСОИ - 2013». Т.1. – М.: АПР, 2013. – С. 152 – 155.

*Стаття надійшла до редакції 24 грудня 2013 російською мовою*

**В.І. Бабій**

### **СПЕКТРАЛЬНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО СТАНУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА**

Розглянуті додаткові флуктуації параметрів термодинамічного стану морської води, обумовлені акустичними полями океану. Дано адіабатичне рівняння стану, яке описує цей ефект. Наведено кількісні оцінки баричних похідних адіабатичних рівнянь стану морської води. Описана проста спектральна модель флуктуацій параметрів стану і власних інструментальних шумів гідрофізичних вимірювачів.

**V.I. Babiy**

### **SPECTRAL MODEL PARAMETERS OF THERMODYNAMIC STATE SEA AMBIENCE**

They are considered additional fluctuations of the parameters of the thermodynamic sea water state, conditioned by acoustic fields of the ocean. It is given adiabatic equation of the state, describing this effect. The quantitative estimations of the derivatives of the baric adiabatic equations of seawater state are brought. The simple spectral model of fluctuations of the state parameters and own instrumental noise hydrophysical meters are described.