

Опыт использования гидроакустического автогенератора для исследования изменчивости характеристик морской среды на стационарной трассе на крутом шельфе

В.П. Елистратов¹, Г.В. Кенигсбергер^{1,*}, В.И. Моисеенков¹, А.Н. Серебряный^{2†}

¹Гидрофизический институт АН Абхазии, Республика Абхазия, г. Сухум, ул. Красномаяцкая, 67

²Акустический институт имени акад. Н.Н. Андреева, Россия, 117036, Москва, ул. Шверника, 4

(Статья поступила 20.11.2014; Подписана в печать 15.12.2014)

Приводятся результаты исследований характеристик гидроакустического автогенератора на стационарной трассе длиной 125 м в прибрежной зоне Чёрного моря для условий двулучевой структуры поля. Рассматривается влияние изменчивости гидрофизических параметров среды на режим работы автогенератора. Обсуждается возможность использования генератора как инструмента для мониторинга морской среды. Показаны результаты измерений температуры среды во время регистрации сигналов автогенератора вертикальной цепочкой термисторов, установленной на трассе.

PACS: 43.20.DK, 43.60.-c, 43.60.VX УДК:551.463.21

Ключевые слова: морская среда, звуковое поле, лучевая структура, условия распространения, стационарная гидроакустическая трасса, скорость звука, температура, волнение, гидроакустический автогенератор, частота генерации, динамическая фаза, изменчивость температуры, колебания термоклина, внутренние волны.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка тепловых запасов морских вод и динамика течений в прибрежных акваториях имеют важное хозяйственное и экологическое значение. Температура водной среды определяет количество тепла и влаги в прибрежных районах и является климатообразующим фактором, прибрежные течения осуществляют массообмен, теплоперенос, обеспечивают приток чистых вод и вынос от берега продуктов антропогенной деятельности. В [1, 2], анализируется работа регенеративной схемы мониторинга, в которой акустическая трасса включена в петлю обратной связи. В результате образуется так называемый гидроакустический автогенератор (ГАГ), отличающийся высокой чувствительностью к возмущениям характеристик канала, который можно рассматривать как прибор для исследования изменчивости среды вдоль акустической трассы. Автоматически подстраиваемая частота генерации $\omega(t)$ в условиях изменчивости характеристик среды в точке приёма сохраняет интерференционный максимум, образуемый суперпозицией сигналов распространяющихся по различным лучам (модам). Тем самым фиксирует структуру поля в точке приёма, сохраняя значение волнового вектора k постоянным

$$k = \omega(t)/c(t) = \text{const} \quad (1)$$

в условиях изменяющегося поля скорости звука $c(t, \mathbf{r})$ под влиянием изменчивости полей температуры, солёности и проекции скорости течения на направление распространения.

Для оценки возможностей данного метода и измерения характеристик ГАГ нами были выполнены

экспериментальные исследования в условиях акустического бассейна. Структурная схема ГАГ представлена на рис. 1.

Фазовая структура поля в точке приёма сложна и определяется векторной суммой множества сигналов, пришедших по прямому лучу и отражённых от поверхности и стенок бассейна. В работе [3] рассматриваются характеристики ГАГ, созданного в условиях гидроакустического бассейна, где экспериментально подтверждаются высокая стабильность частоты генерации и высокая чувствительность к изменениям характеристик среды.

Измерения характеристик сигнала в режиме генерации показали, что генератор возбуждается на частоте, которой соответствует максимальное значение спектра шумов, наблюдаемого в режиме регенерации. При включении автогенератора без изменения параметров схемы в различное время отмечены разные значения частоты генерации в диапазоне от единиц герц до десятка килогерц. Причиной такого разброса частот является изменение окраски спектра шумов бассейна, когда их максимум в спектре перемещается из одного диапазона в другой

Наблюдения показали, что плавный уход частоты обусловлен изменением температуры воды в бассейне, и его величина зависит от скорости изменения температуры среды и времени наблюдения. При плавном изменении частоты фазовая структура поля не изменяется, то есть сохраняется величина волнового вектора, что подтверждает справедливость соотношения (1). Следовательно, скорость звука и частота генерации изменяются пропорционально. При скачкообразном изменении частоты значение волнового вектора и фазовая структура поля изменяются.

Целью настоящей работы является исследование возможностей использования гидроакустического автогенератора как инструмента для исследования изменчивости характеристик морской среды в условиях стационарной трассы.

*E-mail: kenigsbergerg@mail.ru

†E-mail: serebryany@hotmail.com

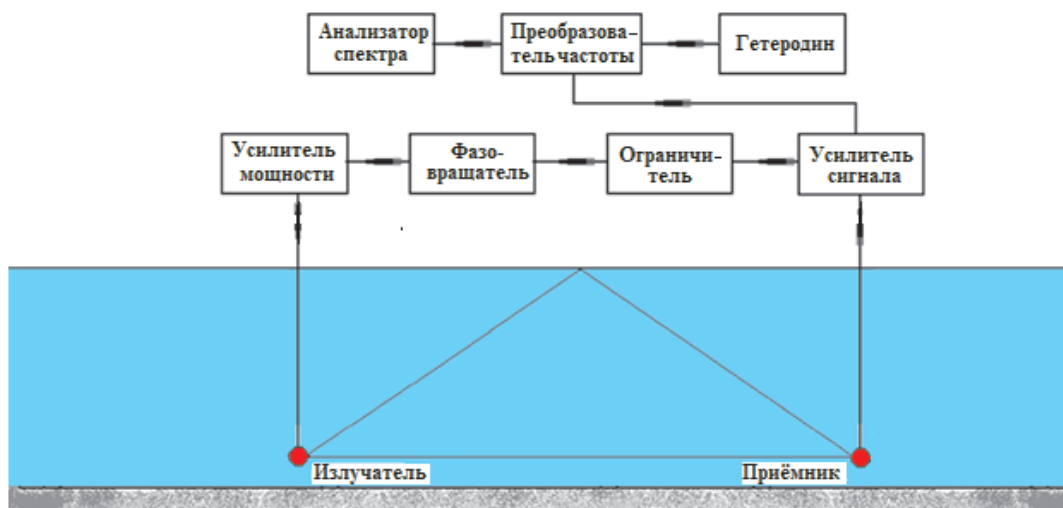


Рис. 1: Структурная схема гидроакустического автогенератора

1. ОПИСАНИЕ АППАРАТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ТРАССЫ И УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Для исследования возможностей измерения характеристик морских вод в условиях стационарной морской трассы в акватории Сухумского мыса был создан ГАГ, структурная схема которого показана на рис. 1. В качестве излучателя и приёмника были использованы пьезоэлектрические преобразователи с резонансной частотой 6 кГц. Расстояние между приёмником и излучателем равно 126 м, глубины установки преобразователей 40 и 36 м.

Условия распространения звука от излучателя к приёмнику в течение всего года характеризуются двулучевой структурой (чисто водный и отражённый от поверхности лучи), рис. 2. Существенные изменения в структуру суммарного сигнала вносит волнение свободной поверхности.

На трассе между приёмником и излучателем на время эксперимента была установлена вертикальная цепочка из 11 термисторов. Вертикальные профили скорости звука, рассчитанные с использованием данных цепочки термисторов, во время эксперимента, показаны на рис. 5.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ ГАГ НА СТАЦИОНАРНОЙ ТРАССЕ

Наблюдения за динамикой сигнала ГАГ свидетельствуют о существенной временной нестабильности амплитуды и спектра, рис. 3.1. Нестабильность сигнала ГАГ, вплоть до срыва генерации, связана главным образом с влиянием волнуемой свободной поверхности. Измерения спектра сигнала показали, что ГАГ работает на одной частоте (режим генерации), либо ге-

нерация срывается и возникает на нескольких возможных частотах, образуя звукоряды, (режим регенерации или возбуждения), переходя затем в режим одной частоты из возникшего звукоряда. Представляет интерес исследование закономерностей перехода ГАГ, в режиме возбуждения с одной частоты на другую и связь между этими частотами.

А. Исследование спектров сигнала ГАГ в режиме возбуждения

На рис. 3.1 показан вид сигнала ГАГ в точке приёма, на рис. 3.2 — спектр гетеродинированного сигнала. При генерации на одной частоте в диапазоне 1 кГц видна единственная гармоника.

На рис. 4 показаны типичные спектры сигнала при срыве генерации и переходе в режим регенерации. Видны 17 гармоник звукоряда с периодом ~ 12 Гц и 5 гармоник с периодом ~ 35 Гц. При аппроксимации двух рядов с 17-ю оценками частоты с шагом ~ 12 Гц по методу наименьших квадратов получены экспериментальные оценки частот с периодом $\Delta f_9^{(1)} = 11,7$ Гц и 11,8 Гц. Аналогичным образом получены значения двух других рядов с пятью оценками частоты с периодом, близким к 35 Гц: $\Delta f_9^{(1)} = 35,0$ и 34,3 Гц.

На рис. 5. показаны 3 вертикальных профиля звука, рассчитанных с использованием данных цепочки термисторов, с интервалом в 40 мин во время записи в течение трёх часов работы ГАГ.

Представленные на рис. 2 схемы размещения в волноводе излучателя и приёмника и модель лучевой картины показывают, что сигналы приходят к приёмнику по водному, (придонному) и по отражённому от свободной поверхности лучам. В условиях волнения вариант однолучевого распространения возможен, если от-

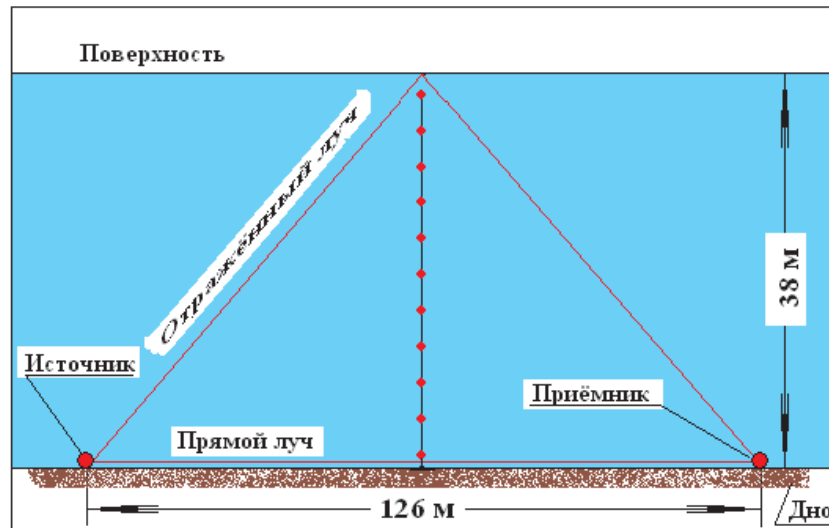


Рис. 2: Схема размещения приёмника, излучателя, цепочки из 11 термисторов и модель лучевой картины

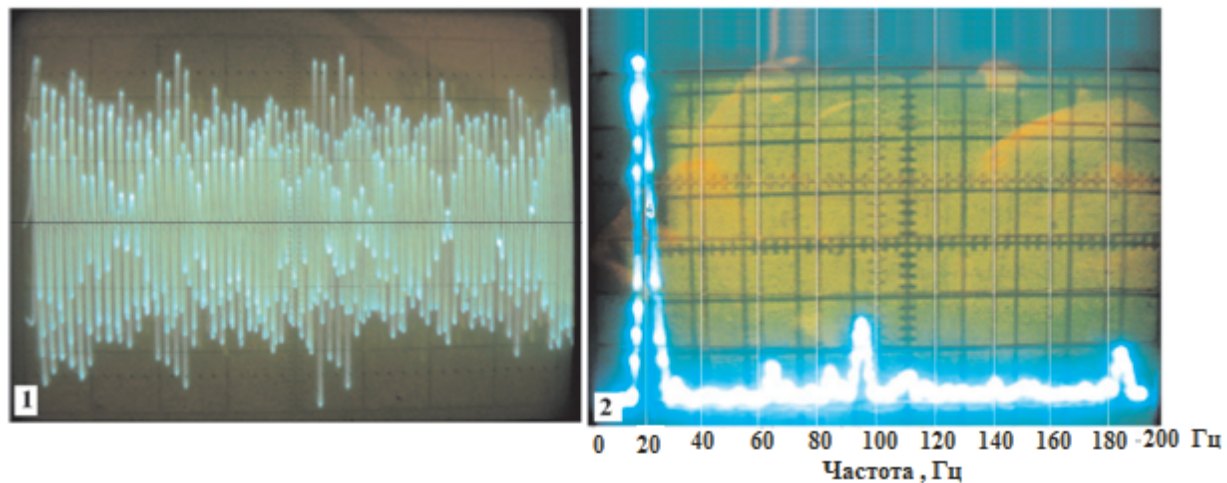


Рис. 3: 1 — Сигнал ГАГ в точке приёма 2 — Спектр сигнала при генерации на одной частоте

ражённый сигнал рассеян волнующейся поверхностью. Анализ с использованием упрощённой двулучевой модели распространения звука (рис. 2) показывает, что для однолучевого распространения сигнала по водному, распространяющемуся у дна лучу, частота генерации подчиняется соотношению

$$f_n^{(1)} = \frac{n}{r_B/c_B}, \quad (2)$$

где индекс ⁽¹⁾ означает, что поле распространяется по одному лучу, n — номер гармоники звукоряда, $r_B = 125$ м — расстояние между приёмником и источником, интегральная скорость звука по водному лучу $c_B = 1486$ м/с, которая соответствует интегральной скорости по водному лучу (горизонт 40 м), рис. 5.

Для двулучевого распространения, когда сигналы приходят в точку приёма по водному и отра-

жённому лучам, для частоты генерации справедливо соотношение

$$f_n^{(2)} = \frac{n}{2 \left(\frac{r_0}{c_0} - \frac{r_B}{c_B} \right)}, \quad (3)$$

где индекс ⁽²⁾ означает, что поле распространяется по двум лучам, $r_0 = 146,4$ м — расстояние, проходимое отражённым от поверхности лучом, c_0 — интегральная скорость звука по отражённому лучу ($c_0 = 1498$ м/с, которая соответствует интегральной скорости по отражённому лучу (горизонт 22 м) в соответствии с рис. 5.

Подставляя в формулы (2) и (3) значения r_0 , r_B , c_0 , c_B , получим оценки периодов звукорядов $f_1^{(1)} = 11,79$ Гц и $f_1^{(2)} = 37,3$ Гц, которые близки к измеренным экспериментально оценкам периодов звукорядов 12 Гц и 35 Гц, соответственно. Как видно, ис-

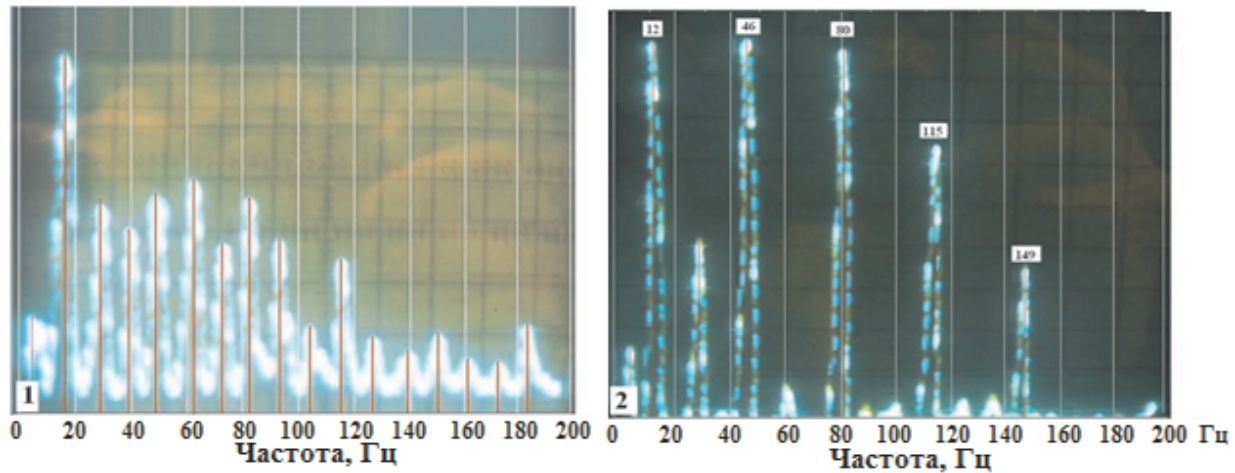


Рис. 4: Спектры сигнала при срыве генерации. 1 — Звукоряд 17-ти гармоник с шагом 12 Гц; 2 — Звукоряд 5-ти гармоник с шагом 35 Гц

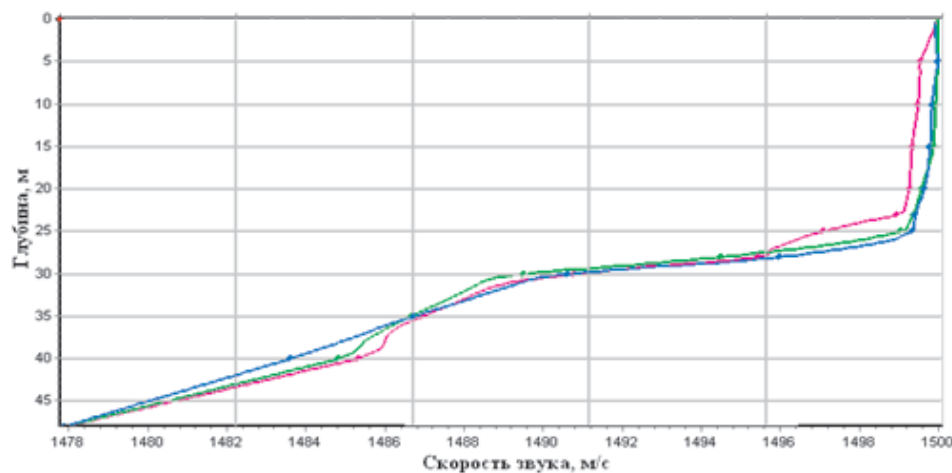


Рис. 5: Вертикальные профили скорости звука, полученные во время эксперимента с интервалом в 40 минут

пользование предложенных соотношений (2) и (3) удовлетворительно аппроксимирует звукоряды генерируемых ГАГ частот. Если частота генерации определяется временной изменчивостью среды в соответствии с вариациями интегральных скоростей по лучам $c_o(t)$, $c_b(t)$ и $r_o(t) = r_o[c_o(t)]$, $r_b(t) = r_b[c_b(t)]$ и её формула приобретает более общий вид

$$f_n^{(2)}(t) = \frac{n}{2 \left(\frac{r_o(t)}{c_o(t)} - \frac{r_b(t)}{c_b(t)} \right)}, \quad (4)$$

тогда в выражении (3) оценка $f_n^{(2)} = f_n^{(2)}(t)$ при $t = 0$.

В данном случае важным результатом анализа является возможность вычисления с использованием формулы (3) номера гармоники звукоряда n , периода звукоряда $f^{(2)}$ и оценки значения частоты гармоники номера m , как

$$f_m^{(2)} = \frac{m}{n} \cdot f_n^{(2)}. \quad (5)$$

В. Исследование характеристик сигналов ГАГ в режиме генерации

С использованием фильтров автогенератор был настроен на работу в диапазоне 1 кГц. Трёхчасовая реализация сигнала ГАГ, полученная при волнении моря в 2 балла, была подвергнута обработке БПФ с различными объёмами выборки. Результаты БПФ-анализа спектрограмм сигналов при длине выборки 0,68 с и 349 с представлены на рис. 6.1 и 6.2. На рис. 6 видно, что частота генерируемого сигнала f_T принимает значения ограниченного числа возможных (квантованных) уровней, оценки которых составляют 980, 1015, 1050, 1085, 1120 Гц и 1190 Гц, кратные $\Delta f_1 \cong 35$ Гц с разбросом порядка десятых долей герца, обусловленным влиянием волнения.

Полученный результат позволяет сделать вывод: в условиях двулучевой структуры поля автогенератор

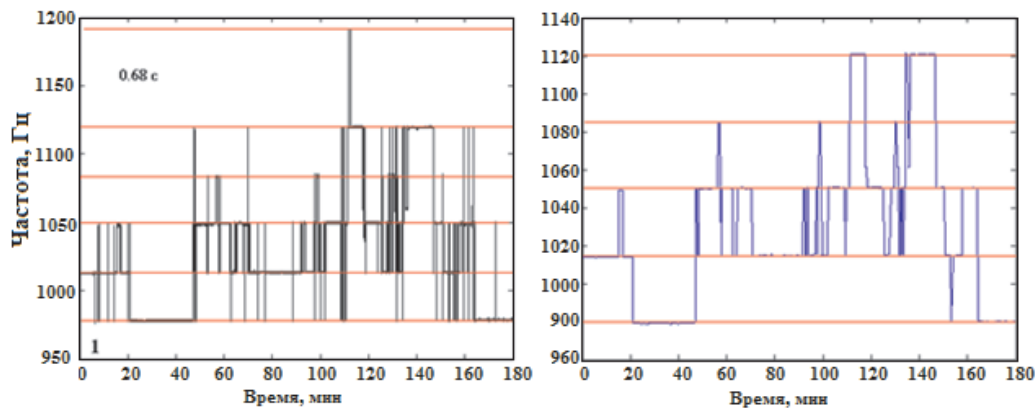


Рис. 6: Результаты БПФ обработки сигнала ГАГ, при длине выборки 1 — 0,68 с, 2 — 349 с

способен работать только на частотах звукограда, вычисляемых по формуле (3) (в данном случае кратного частоте ~ 35 Гц), т. е. определяется параметрами волновода и расстоянием между точками приёма и излучения. Время устойчивой генерации на указанных частотах находится в пределах от 1 мин до 20 мин. Характерно, что при малой длительности выборки сигнала на спектрограмме рис. 6.1 регистрируется значительно больше срывов генерации, чем на рис. 6.2.

Сравнение этих рисунков показывает, что с увеличением времени анализа (длительности выборки) происходит фильтрация коротких участков сигнала, обусловленных срывом генерации и переходом на другую частоту. Это обстоятельство позволяет обрабатывать сигналы ГАГ на одной частоте на достаточно длительных промежутках времени — от десятков секунд до десяти минут.

На рис. 7 представлены, полученные на тридцатиминутном интервале зависимости частоты генерации (рис. 7а), полной фазы сигнала (рис. 7б), разности фаз (рис. 7в) и динамической разности фаз на шестнадцатиминутном интервале (рис. 7г). На рис. 7а видно, что в течение 30 минут частота генерации f_r принимала 4 значения: $f_n = 1013,88$, $f_{n+1} = 1049,28$, $f_n = 1014,0$,

$f_{n-1} = 978,98$ Гц. Полная фаза сигнала $\varphi(t)$ на графике (рис. 7б), несмотря на изменение частоты, имеет вид, близкий к прямой.

$$\varphi(t) = \omega(t) \cdot t + \varphi_{\Sigma} = [\omega(0) + \Delta\omega(t)] \cdot t + \varphi_{\Sigma} \quad (6)$$

где $\omega(t)$ — текущая частота ГАГ, $\omega(0)$ — начальная частота при $t = 0$, $\Delta\omega(t)$ — динамическая составляющая частоты ГАГ, зависящая от меняющихся условий распространения, $\Delta\omega(t) \ll \omega(0)$. Пространственная фаза φ_{Σ} в момент возникновения генерации на частоте $\omega(0)$ определяется фазами сигналов по траекториям лучей, содержащим целое число длин волн $r_b(0) = q \cdot \lambda_b$ и $r_o(0) = p \cdot \lambda_o$ для выполнения условия баланса фаз, которое является условием генерации

$$\varphi_{\Sigma} = \left[\frac{\omega(0)}{c_b(0)} \right] \cdot r_b(0) = \left[\frac{\omega(0)}{c_o(0)} \right] \cdot r_o(0) + (p - q) \cdot 2\pi. \quad (7)$$

где $\omega(0)$ — частота, определяющая наклон прямой.

Составляющая φ_{Σ} полной фазы сигнала $\varphi(t)$ является постоянной величиной, в силу автоматической стабилизации автогенератором интерференционного максимума суммарного поля в точке приёма путём изменения частоты генерации $\omega(t) = \omega(0) + \Delta\omega(t)$

$$\varphi_{\Sigma} = \arctg \frac{A_b \cdot \cos[k_b(t) \cdot r_b(t)] + A_o \cdot \cos[k_o(t) \cdot r_o(t)]}{A_b \cdot \sin[k_b(t) \cdot r_b(t)] + A_o \cdot \sin[k_o(t) \cdot r_o(t)]} = l \cdot 2\pi, \quad (8)$$

где A_b и A_o — амплитуды, $k_b(t) = \omega(t)/c_b(t)$ и $k_o(t) = \omega(t)/c_o(t)$ — волновые векторы, $c_b(t)$ и $c_o(t)$ — интегральные скорости звука по водному и отражённому лучам, $r_b(t)$ и $r_o(t)$ — расстояния, проходимые сигналами, p , q и l — целые числа.

Показанная синим цветом на рис. 7б полная фаза $\varphi(t) = \omega(t) \cdot t + \varphi_{\Sigma}$ изменяется с относительно небольшими отклонениями от линейной функции,

поскольку динамическая составляющая частоты ГАГ $\Delta\omega(t) \ll \omega(0)$ — начальной частоты ГАГ. Красным цветом на рис. 7б показана прямая — зависимость временной фазы

$$\varphi_a(t) = \omega(0) \cdot t, \quad (9)$$

На рис. 7в представлена разность между зависимо-

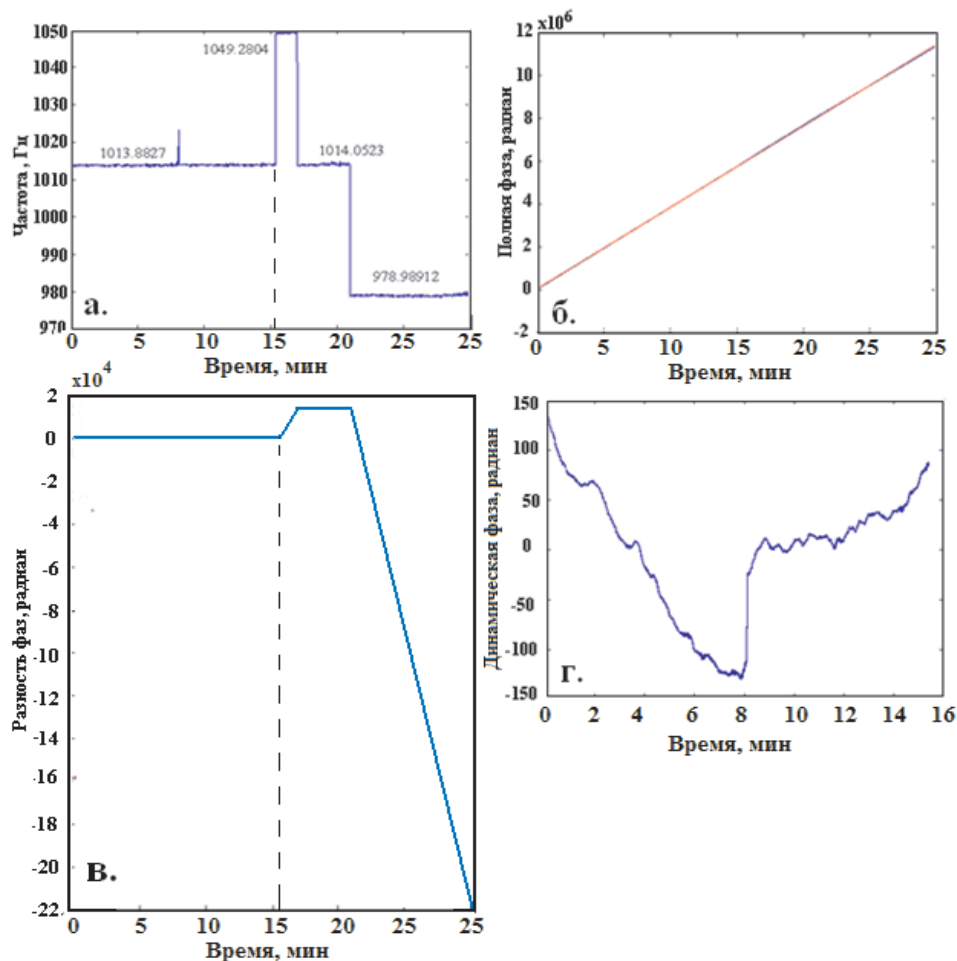


Рис. 7: Зависимости от времени частоты генерации — а, полной фазы сигнала — б, разности фаз — в и динамической разности фаз — г

стями полной фазы и аппроксимирующей прямой

$$\Delta\varphi(t) = \varphi(t) - \varphi_a(t) = \Delta\omega(t) \cdot t + \varphi_{\Sigma} \quad (10)$$

Видно, что масштаб разности $\Delta\varphi(t)$ стал меньше масштаба полной фазы на два порядка и приобрёл вид ломаной, состоящей из 4-х фрагментов различных наклонов, соответствующих количеству частот генерируемого сигнала на 30-минутном интервале. При этом разность фаз $\Delta\varphi(t)$ в течение первых 16 мин представляет горизонтальную прямую, поскольку в формуле (10) в качестве вычитаемого использована зависимость (9), содержащая в качестве углового коэффициента прямой начальное значение начальной частоты генерации $\omega(0)$.

На рис.7г показана первая часть графика рис.7в в увеличенном масштабе по оси радиан. Масштаб полученной динамической разности фаз $\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi_d(t)$ на рис.7г на два порядка меньше, чем на рис.7в. Можно наблюдать тонкую структуру непрерывного изменения динамической фазы между скачкообразными изменениями частоты, которая содержит информацию

об изменчивости условий распространения сигналов по водному и отражённому лучам. Динамическая фаза $\Delta\varphi_d(t)$ является функцией интегральных скоростей звука $c_b(t)$ и $c_o(t)$ по лучам

$$\Delta\varphi_d(t) = f[c_b(t), c_o(t)]. \quad (11)$$

На основании анализа можно сделать вывод: динамическая часть фазы сигнала содержит информацию об изменениях полей температуры и структуры течений на трассе, что и подтверждает достижение цели эксперимента.

Дальнейшие исследования зависимости экспериментальной динамической фазы $\Delta\varphi_d(t)$ можно продолжить с использованием выражения, полученного на основании формул (3), (4), (8) в виде

$$\Delta\varphi_d(t) = \frac{\pi \cdot n \cdot t}{\left(\frac{r_o(t)}{c_o(t)} - \frac{r_b(t)}{c_b(t)}\right)} - \frac{\pi \cdot n \cdot t}{\left(\frac{r_o}{c_o} - \frac{r_b}{c_b}\right)} + \varphi_{\Sigma}, \quad (12)$$

совместно с экспериментальной зависимостью динамической фазы от времени (10).

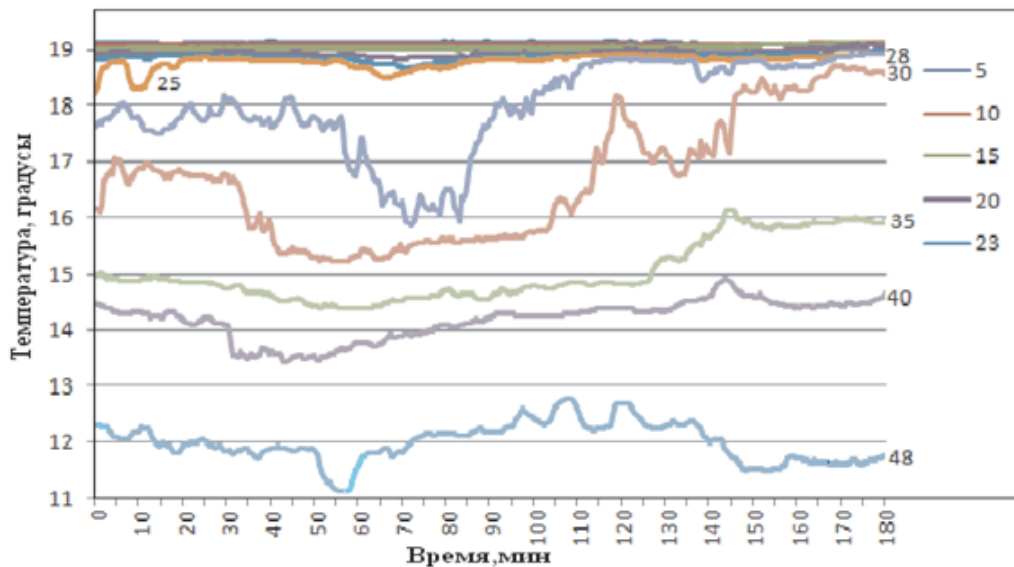


Рис. 8: Зависимости температуры от времени, измеренные на 11 горизонтах в течение 3 часов. Глубина указана в метрах

Можно предположить, что анализ с использованием моделей скорости звука по лучам $c_v(t) = c_v[t_o^o(t), v_v(t)]$ и $c_o(t) = c_o[t_o^o(t), v_o(t)]$ позволит получить оценки интегральной температуры $t_v^o(t)$, $t_o^o(t)$ и проекции скорости течения $v_v(t)$, $v_o(t)$ на направление распространения.

3. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ

На трассе между приемником и излучателем на время эксперимента была установлена вертикальная цепочка из 11 термисторов типа DST centi производства фирмы «Starr Oddi». Цепочка была установлена на глубине 50 м на экспериментальной трассе в пределах горизонтов от 1 м над дном до 4 м под поверхностью моря (см. рис. 2). Разрешение датчиков по температуре — $0,03^\circ\text{C}$, точность $0,10^\circ\text{C}$. Каждый датчик в цепочке регистрировал показания температуры с дискретностью 30 секунд. Таким образом, проводилась регистрация изменчивости температуры от поверхности до дна моря на трассе в течение длительного срока, включая период времени обсуждаемого здесь эксперимента.

Полученные данные о зависимости температуры (рис. 8) были использованы при анализе работы ГАГ для вычисления вертикальных профилей скорости звука, показанных на рис. 5.

На рис. 9 представлен временной ход температуры водной толщи за сутки 16 октября 2013 г. Температурная структура водной толщи претерпевала значительные изменения с характерными временными периодами от нескольких минут до нескольких часов. В среднем

температурный профиль характеризовался спадом температуры от 20°C в приповерхностной области до 8°C у дна. Изменения температуры на отдельных горизонтах достигали 2°C , а иногда даже превышали это значение.

Колебания температуры, как правило, были синхронны по глубине, но иногда можно было заметить участки с противофазным движением. Для интерпретации нашего эксперимента нас наиболее интересует сегмент времени между 12 ч и 15 ч. В это время отмечались достаточно интенсивные короткопериодные колебания температуры (с периодами от нескольких минут до 10 мин) размахом до $1,50^\circ\text{C}$, происхождение которых было связано с появлением на трассе короткопериодных внутренних волн. За предыдущий период наблюдений, продолжавшийся с конца сентября до середины октября, помимо частого присутствия короткопериодных внутренних волн также были выявлены значительные по амплитуде колебания (до 15–20 м) слоя скачка с периодом, близким к инерционному (17 ч), что свидетельствовало о частом подходе к прибрежную зону внутренних инерционных волн [4]. Известно о широком распространении в океане интенсивных внутренних волн [5], которые могут приводить к значительным акустическим эффектам на шельфе, некоторые из которых рассмотрены, например, в [6]. Черное море, являясь замкнутым и практически бесприливным, отличается относительно невысокими амплитудами внутренних волн по сравнению со своими океанскими аналогами [7], однако и здесь возможно появление интенсивных внутренних волн, чье происхождение напрямую связано с инерционными колебаниями термоклина. Район проведения нашего эксперимента оказался особенным, поскольку здесь были зарегистрированы квазиинерционные внутренние волны повышенных ампли-

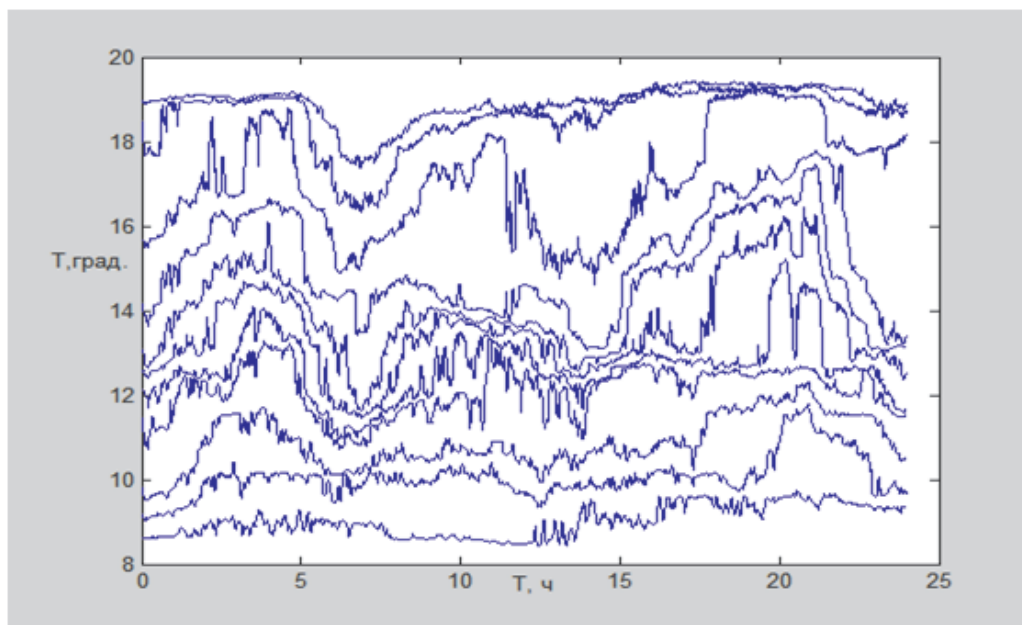


Рис. 9: Изменения температуры водной толщи во времени, измеренные цепочкой из 11 датчиков 16 октября 2013 г.

туд. Это обстоятельство дает надежду на получение новых интересных данных в следующих экспериментах с применением ГАГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях двулучевого распространения звукового поля на стационарной гидроакустической трассе частота сигналов ГАГ принимает значения из звукоряда, определяемые параметрами волновода и расстоянием между точками приёма и излучения. Предложена формула (3), связывающая частоту генерации с разностью времён распространения сигналов по лучевым траекториям. Обработка экспериментальных данных показала, что изменения частоты сигналов генерации и их динамической фазы содержат информацию об изменениях

условий распространения по лучам (10). Получено выражение (12), связывающее зависимость разности времён распространения сигналов по лучам с зависимостью динамической фазы от времени. Этим показано, что цель эксперимента достигнута, использование ГАГ на стационарной морской трассе в качестве инструмента для измерения изменчивости характеристик среды возможно.

Высказано предположение, что использование выражения (12) при обработке экспериментальных зависимостей динамической фазы в дальнейшем позволит получить оценки интегральных скоростей звука, температуры и проекции скорости звука на направление распространения по лучам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-02-90301 Абх_а).

- [1] *Фурдуев А.В.* О новых способах подводного акустического мониторинга. Акустика океана. Доклады VIII школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. С. 25. (М.: ГЕОС, 2000).
- [2] *Фурдуев А.В.* Акуст. журн. **47**, №3. С. 422. (2001).
- [3] *Елистратов В.П., Кенигсбергер Г.В., Самсонов Л.И.* Исследование автогенераторного метода мониторинга среды в условиях опытового бассейна. Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики», Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики РАН, Санкт-Петербургский научный центр РАН. С. 410. (Санкт-Петербург: Наука, 2012).
- [4] *Серебряный А.Н., Кенигсбергер Г.В., Елистратов В.П., Медведовский В.В., Сабинин К.Д., Свадковский А.Н.,*

- Тарасов Л.Л., Чекайда В.Н.* Новые данные о течениях и изменчивости гидрофизических полей на абхазском шельфе Черного моря Сборник тезисов Одиннадцатой всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». С. 266. (М.: ИКИ РАН, 2013).
- [5] *Сабинин К.Д., Серебряный А.Н., Назаров А.А.* Океанология. **44**, №6. С. 805. (2004).
- [6] *Кацнельсон Б.Г., Переселков С.А., Петников В.Г., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н.* Акуст. журн. **43**, №4. С. 494. (2001).
- [7] *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. **18**, №6. С. 683. (1982).

Experience in using of hydroacoustic oscillator to study the variability of sea environment on stationary path of steep shelf

V.P. Elistratov, G.V. Kenigsberger^a, V.I. Moiseenkov, A.N. Serebryany^b

Hydrophysical Institute of Academy of Sciences of Abkhazia, Andreyev Acoustics Institute

E-mail: ^akenigsberger@mail.ru, ^bserebryany@hotmail.com

Results of investigations of hydroacoustic oscillator characteristics on stationary 125-meter track in coastal zone of the Black Sea for two rays conditions of the sea structure are presented. The impact of variability of hydrophysical parameters of environment on mode of operation of oscillator are discussed. Possibility of using the oscillator as a tool for monitoring of the sea medium is discussed. Results of temperature measurements of sea environment by termistor string during oscillator operation is shown.

PACS: 43.20.DK, 43.60.-c, 43.60.VX

Keywords: marine environment, sound field, ray pattern, propagation conditions, stationary acoustic track, sound velocity, temperature, exitement of the sea, hydroacoustical autogenerator, frequency of generation, dynamical phase, temperature variability, oscillations of the thermocline, internal waves.

Received 20.11.2014.

Сведения об авторах

1. Елистратов Валерий Петрович — ведущий научн. сотрудник Гидрофизического института АН Абхазии (ГИАНА); тел.: +7(940) 990-64-62, e-mail: sgiana@mail.ru.
2. Кенигсбергер Генрих Викторович — зам. директора ГИАНА; e-mail: kenigsberger@mail.ru.
3. Моисеенков Владимир Иванович — ведущий научн. сотрудник ГИАНА; e-mail: sgiana@mail.ru.
4. Серебряный Андрей Нинелович — докт. физ.-мат.наук, начальник лаборатории Акустического института имени акад. Н. Н. Андреева; +7 (916) 110-64-53, e-mail: serebryany@hotmail.com.