

УДК 534.22

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ОТКЛИКОВ НА ШЕЛЬФЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2012 г. В. В. Безответных, А. В. Буренин, Ю. Н. Моргунов, Д. С. Стробыкин

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

690041 Владивосток, ул. Балтийская 43

Тел.: (423-2)311-613; Факс: (423-2)312-600

E-mail: alex_bu@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 22.01.2010 г.

Решение актуальных задач звукоподводной связи и навигации для управления подводными объектами во многом зависит от правильного учета гидролого-акустической обстановки в зоне их функционирования. Анализ отечественного и зарубежного опыта в области навигационного обеспечения автономных подводных аппаратов показывает, что технически и экономически целесообразным решением этой задачи является оснащение акватории системой стационарных источников навигационных сигналов с дальностью действия, не меньшей максимального размера акватории. На больших расстояниях и, особенно, в мелком море ключевыми моментами при решении навигационной задачи является правильное определение эффективной скорости звука и времени распространения акустической энергии на каждой из трасс, соединяющих источники с приемником.

Ключевые слова: гидроакустика, псевдослучайные сигналы, подводная навигация.

В статье обсуждаются результаты экспериментов на шельфе Японского моря в заливе Посьета, направленных на исследование закономерностей формирования импульсных характеристик волноводов при зондировании водной среды псевдослучайными сигналами типа М-последовательностей. Применение таких сигналов позволяет сформировать на нескольких источниках различные квазиортогональные последовательности с одинаковой центральной частотой и обеспечить идентификацию этих источников на приемных системах автономных подводных аппаратов (АПА). Цель исследований состояла в определении влияния изменчивости гидролого-акустических характеристик водной среды на точность расчета дистанций по измеренным временам распространения сигналов для решения навигационных задач в шельфовых зонах.

Экспериментальные исследования по единой методике проводились в июне, июле и августе 2009 г. в различных гидролого-акустических условиях на трассе протяженностью около 23 км (рис. 1). В экспериментах использовался макет акустического излучающего комплекса навигационных сигналов типа М-последовательностей, разработанный на основе широкополосного пьезокерамического излучателя. Звуковое давление, приведенное к расстоянию 1 м, для диапазона частот 1200–2500 Гц составляло около 3000 Па. В качестве имитатора приемного тракта АПА был использован радио-

гидроакустический буй. Он состоял из УКВ-радиопередатчика, встроенной системы спутниковой навигации GPS для определения положения надводной части буя и кабельной линии с гидрофоном. При проведении работ имелась возможность устанавливать любую рабочую глубину приемного гидрофона от поверхности до дна и передавать сигнальную информацию и текущие географические координаты по радиоканалу на расстояние до 2 миль на обеспечивающее судно или до 20 км на береговой пост. Для синхронизации трактов излучения и приема макета навигационной системы использовалась система единого времени на основе термостабилизированного генератора.

Методика исследований заключалась в следующем. Источник звука, расположенный на глубине 40 м в 400 м от мыса Шульца (рис. 1), излучал М-последовательности в соответствии с заданной программой. Имитатор приемного тракта АПА дрейфовал на удалении около 23 км от излучателя и ретранслировал принятые сигналы и координаты с GPS на яхту "Светлана", на которой осуществлялась предварительная обработка и запись сигналов. Глубина моря составляла 110 метров. Гидрофон заглублялся на глубину около 100 метров. Было предусмотрено варьирование параметров М-последовательностей в широких пределах: центральные частоты от 366 до 2500 Гц; длина от 15 до 511 символов; количество периодов на сим-

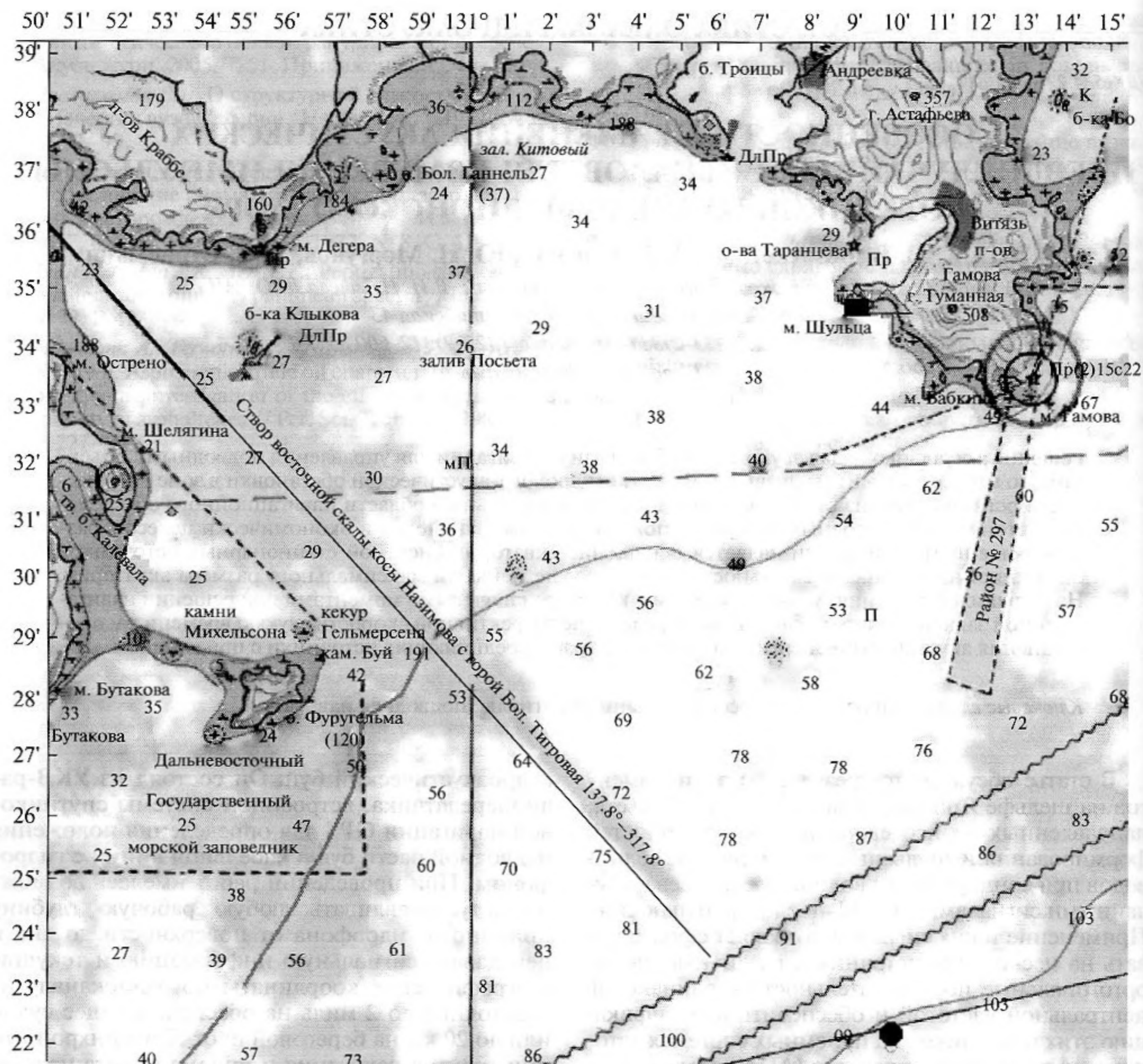


Рис. 1. Схема эксперимента. Точки излучения и приема обозначены квадратом и кружком соответственно.

вол от 2 до 16. Эксперименты в различных гидролого-акустических условиях показали, что для дистанций не более 30 км оптимальная частота расположена в интервале 1200–1700 Гц. Корреляционные свойства М-последовательностей с центральной частотой 2500 Гц снижаются при волнении моря более 3 баллов. Максимальное превышение над помехой при обработке М-последовательностей было получено при длине 127 и 255 символов и 8 периодов на символ (длина посылки 0.4 и 0.8 с) (рис. 2).

В то же время на этих дистанциях уверенно выделялись сигналы с длиной 15 символов и 8 периодами на символ, т.е. длина посылки составляла 0.048 с. Этот факт имеет большое значение при

проектировании автономных источников навигационных сигналов, так как позволяет существенно экономить ресурс батарей.

Гидрологические условия в июне характеризовались небольшим отрицательным градиентом от поверхности до дна и началом захода холодных вод на шельф (рис. 2а). Это наиболее сложное время для идентификации приходящих лучей, так как импульсная характеристика представляет собой ансамбль импульсных сигналов, приблизительно равных по амплитуде и длительностью около 0.1 с (рис. 3а). Первый импульс идентифицировался как прошедший с минимальным количеством отражений по всему волноводу, а послед-

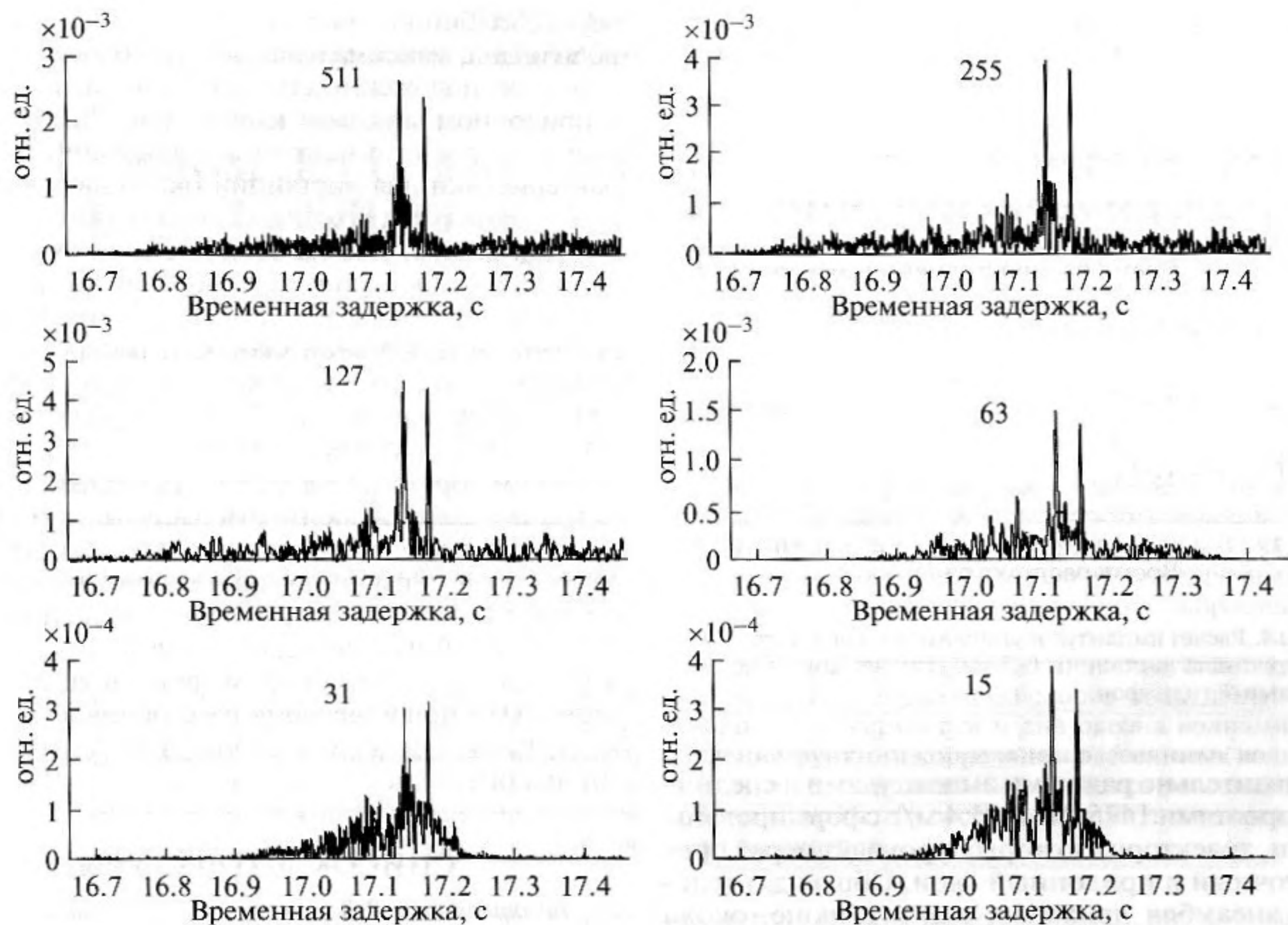


Рис. 2. Зависимость импульсного отклика канала от количества символов в M-последовательности. Дистанция 25.280 км; гидрофон на горизонте 108 м; несущая частота 2500 Гц.

ний – как рефрагировавший в нижнем более холодном слое. Максимальный импульс может быть зафиксирован как в начале ансамбля, так и в середине, и в конце, и если расстояние рассчитывать по времени его прихода, то ошибка может составить 140 м. Анализ рассчитанных скоростей звука по данным GPS и временам приходов первого и последнего импульса показал, что средняя скорость первого импульса в течение двухчасового дрейфа приемной системы составляла 1474.8 м/с с максимальным отклонением 1.5 м/с; а средняя скорость последнего – 1468 м/с с таким же отклонением. Таким образом, при правильном определении средней скорости луча, прошедшего по всему слою с минимальным количеством отражений (первый импульс), ошибка измерения дистанции составит около 20 м, что может быть связано с точностью GPS. В нашем случае ошибка измерения координат GPS составляла 18 м.

Эксперимент в июле 2009 года проводился на той же трассе по аналогичной методике. К этому времени сформировался прогретый слой от поверхности до 40 м, далее промежуточный слой теплой воды до 65 м и затем холодный придонный слой. Импульсная характеристика волновода определяется тремя основными приходами сиг-

налов (рис. 3б). Первая группа лучей, прошедшая через все слои, распространяется со средней скоростью 1483.5 м/с. Две последующие группы с

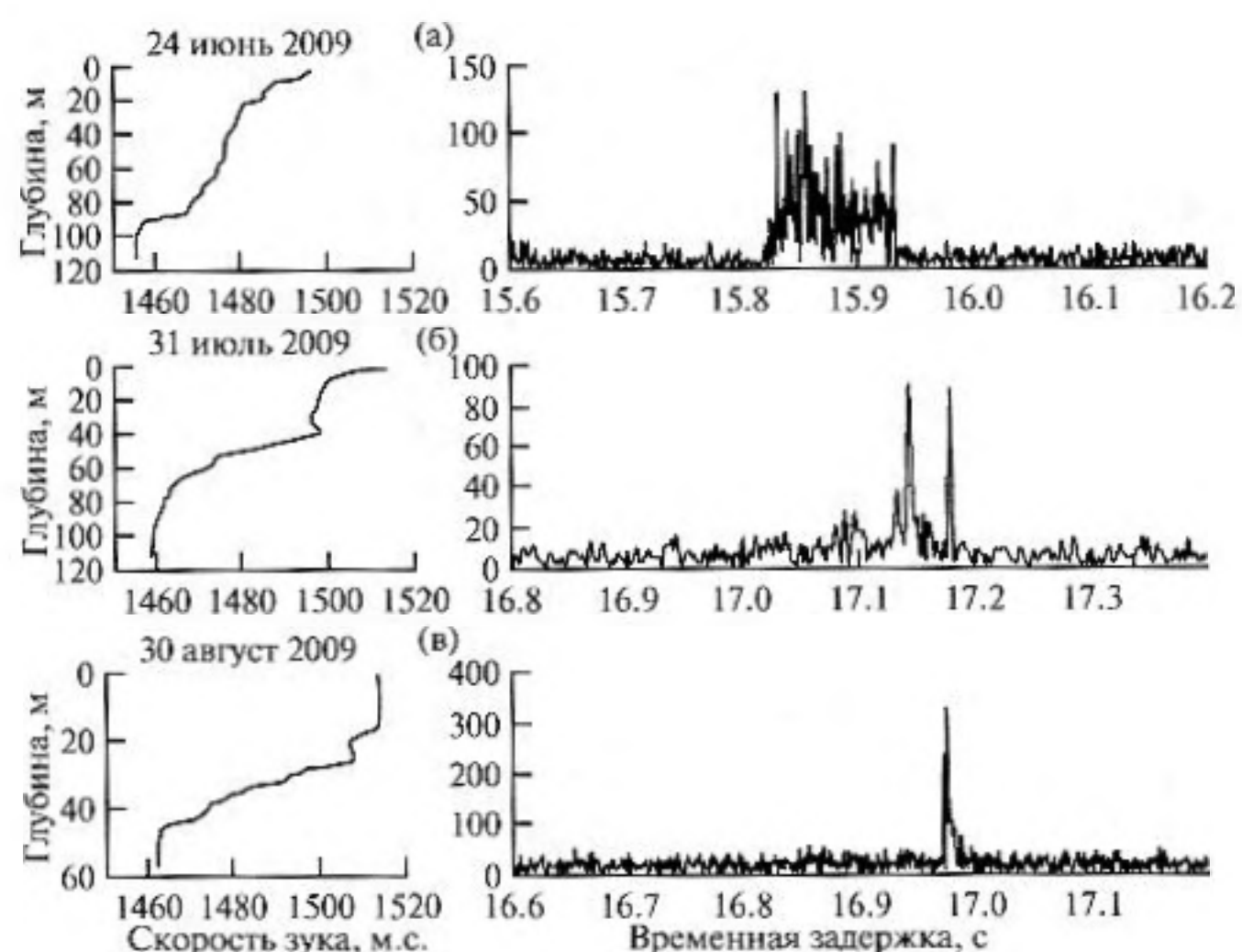


Рис. 3. Вертикальные разрезы скорости звука и экспериментальные импульсные характеристики, полученные в различных гидрологических условиях: (а) июнь; (б) июль; (в) август.

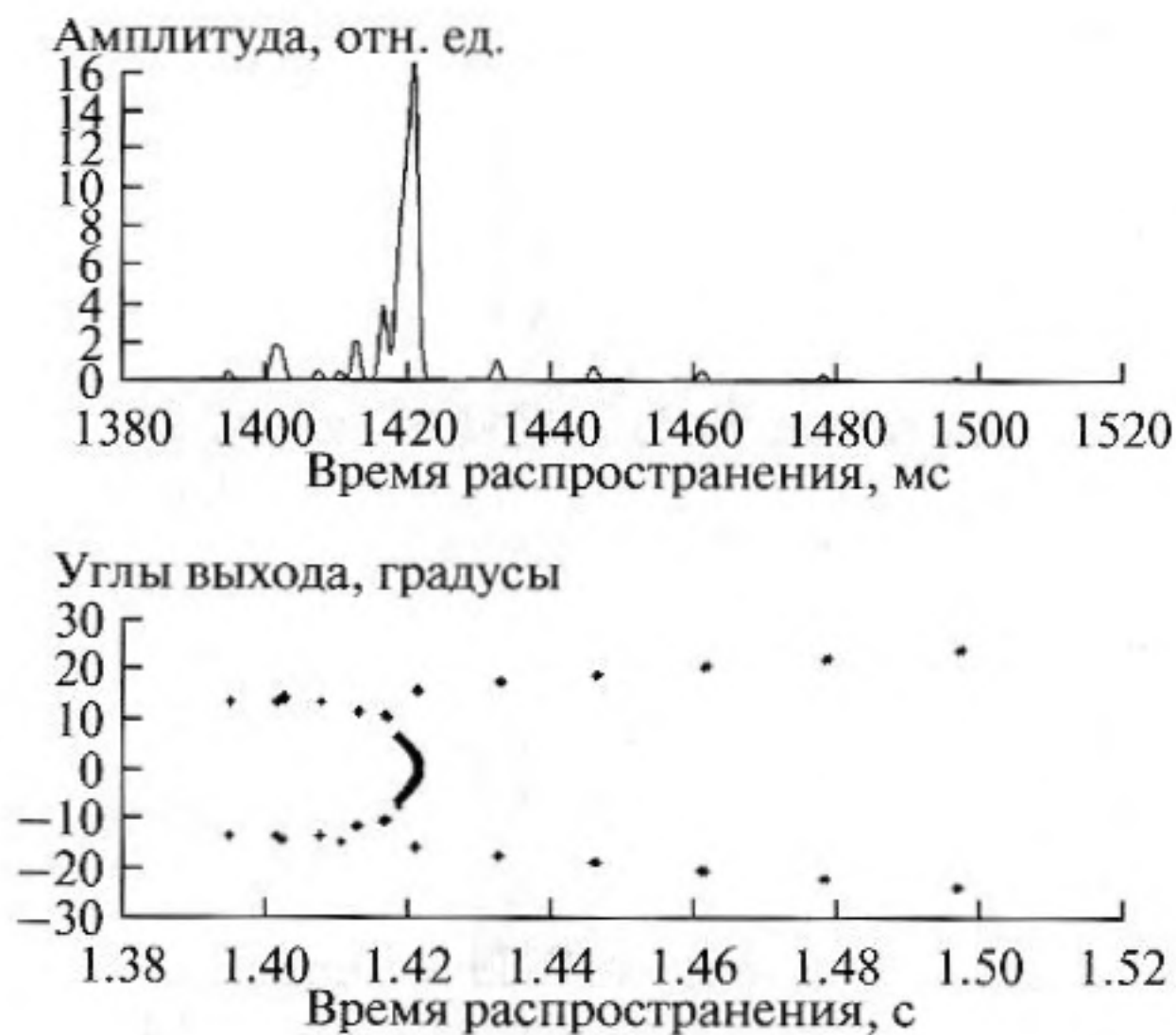


Рис. 4. Расчет амплитуд и углов импульсной характеристики для дистанции (~2 км), где находился контрольный гидрофон.

приблизительно равными амплитудами и средними скоростями 1475.7 и 1471.4 м/с сформированы лучами, траектории которых проходят через промежуточный и придонный слои. Общая длительность ансамбля приходов, как и в июне, около 0.1 с и значения скоростей распространения этих импульсов оставались стабильными в течение нескольких часов. Таким образом, как и в июне, измерение времени по максимальному импульсу может привести к ошибке расчета расстояния в 140 метров.

Эксперимент в августе и наши предыдущие работы [1, 2] показали, что с увеличением отрицательного градиента вертикального распределения скорости

звука с глубиной, при излучении и приеме сигналов вблизи дна, максимальная энергия одного или двух близкорасположенных импульсов концентрируется в придонном звуковом канале (рис. 3в). На рис. 4 приведен расчет амплитуд и углов импульсной характеристики для дистанции около двух километров в месте расположения контрольного гидрофона. Как видим, уже на этих дистанциях основная энергия концентрируется вблизи малых углов скольжения. Следовательно, при правильном определении эффективной скорости распространения звука от источника до приемника при расположении АПА вблизи дна ошибка в измерении расстояния составит несколько метров.

Таким образом, в результате натурального эксперимента показана зависимость импульсного отклика канала распространения акустической энергии от вертикального распределения скорости звука с глубиной и от частоты и длительности зондирующих псевдослучайных сигналов. Полученные данные интерпретированы для применения в задачах навигации АПА при измерении расстояния до источника сигналов в условиях многолучевости на шельфе Японского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безответных В.В., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А. Экспериментальные исследования особенностей распространения импульсных сигналов из шельфа в глубокое море // Акуст. журн. 2009. Т. 55. № 3. С. 374–380.
2. Акуличев В.А., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Моргунов Ю.Н. Эксперимент по оценке влияния вертикального профиля скорости звука в точке излучения на шельфе на формирование импульсной характеристики в глубоком море // Акуст. журн. 2010. Т. 56. № 1. С. 51–52.