АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2010, том 56, № 2, с. 218–220

АКУСТИКА ОКЕАНА. ГИДРОАКУСТИКА

УДК 534.26

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НА ШЕЛЬФЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

© 2010 г. В. А. Акуличев, 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: morgunov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 5.05.09 г.

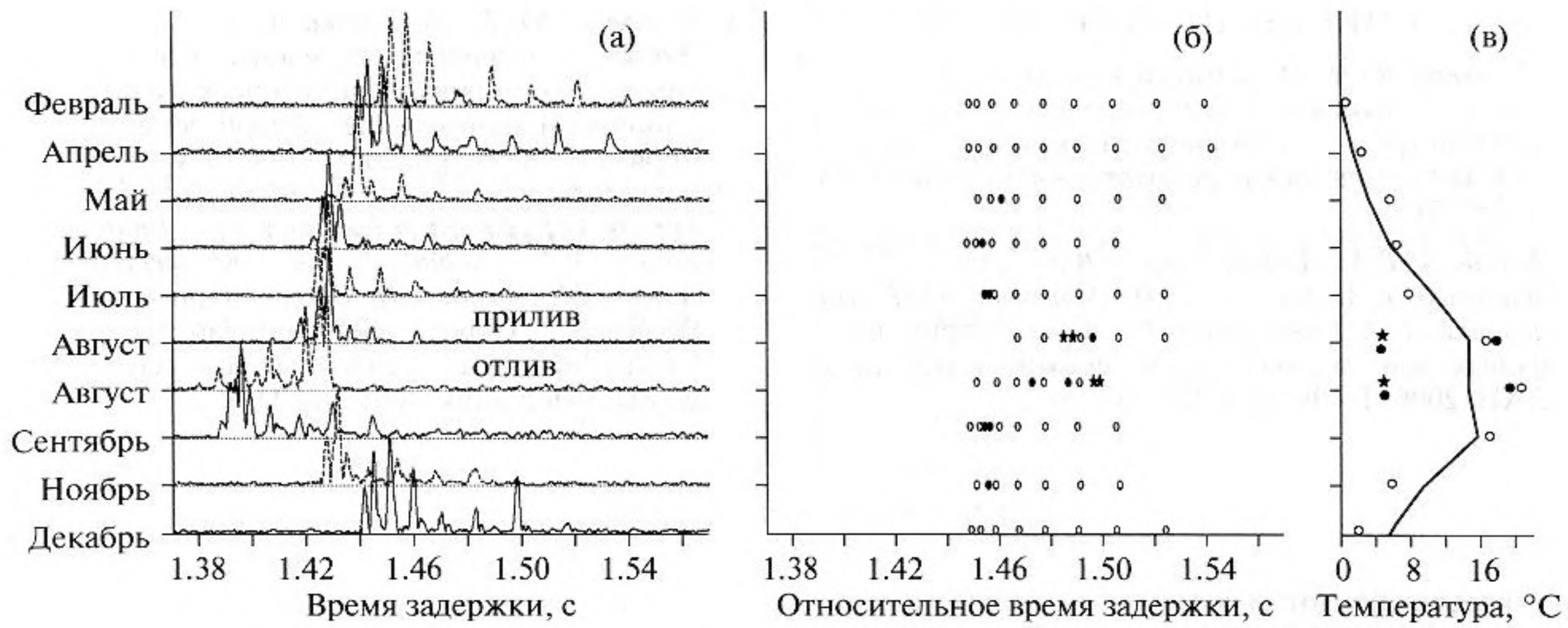
Приведены результаты экспериментальных исследований импульсной характеристики волновода на шельфе Японского моря в зависимости от сезонных изменений поля температуры.

Решение задач реконструкции гидрофизических полей по данным акустического зондирования во многих случаях связано с измерением импульсной характеристики диагностируемого канала распространения акустической энергии. Для мелководных акваторий с многолучевым распространением сигналов основной проблемой является идентификация и измерение времен пробега звуковых импульсов, распространяющихся вдоль лучей, соединяющих источники и приемники звука. Для исследования возможности ее решения авторами был разработан акустический аппаратно-программный комплекс, который позволил проводить долговременные эксперименты в этом направлении [1, 2]. В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований особенностей формирования импульсной характеристики волновода на шельфе Японского моря в зависимости от сезонных изменений поля температур.

Техническая реализация метода исследований основана на применении сложных фазоманипулированных сигналов с центральной частотой 2500 Гц для зондирования морской среды с последующим вычислением взаимной корреляционной функции принятого и излученного сигналов. Это позволило измерять импульсную характеристику волновода, т.е. разрешать во времени отдельные приходы акустической энергии, которые напрямую связаны со скоростью распространения акустической энергии по различным лучевым траекториям и температурой в соответствующих слоях.

Измерения осуществлялись на стационарной акустической трассе протяженностью 2098 метров практически ежемесячно в 2006–2007 годах. Источник и приемник звука были установлены в одном метре от дна при глубинах моря 40 и 43 метра соответственно. По данным многолетних исследований в зимние месяцы, с декабря по апрель, вертикальное распределение скорости звука в этом районе близко к изоскоростному. В остальное время, с прогревом верхних слоев, отмечается отрицательный градиент скорости звука от поверхности до дна. В августе и сентябре, с периодическим заходом холодных вод из глубокого моря, связанного с приливом, формируется придонный слой с меньшими значениями скорости звука, толщиной 5–10 метров.

Условия проведения эксперимента позволили выделить и идентифицировать до девяти импульсов, которые проходят путь между излучателем и приемником по различным лучевым траекториям. Типичные для каждого месяца импульсные характеристики канала приведены на рис. а. Для августа приведены две импульсные характеристики, измеренные при наличии холодного придонного слоя (прилив) и без него (отлив). Февральские измерения были использованы как тестовые, т.к. в условиях постоянства температуры с глубиной импульсная характеристика была стабильна в течение трех суток с небольшими вариациями, связанными с приливом [3]. Все девять импульсов, идентифицированных по количеству отражений между дном и поверхностью, распространяются с одинаковой скоростью (1449 м/с), которая определяется по измеренному времени и рассчитанному расстоянию для любого из импульсов. В соответствии с формулой Дель-Гроссо средняя температура на диагностируемой акватории составляет 0.8 градуса. Сравнение импульсных характеристик, полученных в течение года и в феврале, показало, что характерные промежутки времени между импульсами, по



(а) Типичные для каждого месяца импульсные характеристики канала; (б) относительные времена приходов импульсов; (в) средние температуры в водном слое: (светлые кружки) – рассчитанные по данным акустического зондирования, (сплошная линия) – полученные по данным многолетних океанологических наблюдений в данном районе, (темные кружки) – значения измеренных средних температур во всем слое и температуры в придонном слое, (звездочки) – рассчитанные значения температуры в придонном слое.

которым может быть определено количество отражений и, соответственно, рассчитано расстояние по лучу, отмечаются и в остальные месяцы. Это хорошо иллюстрирует рис. б, где приведены относительные времена приходов импульсов, полученных при сдвиге импульсных характеристик, изображенных на рис. а, таким образом, чтобы времена приходов поздних импульсов совпадали. Как видим, при этом приблизительно совпадают и времена приходов многих остальных импульсов (они обозначены светлыми кружками), т.к. рефракция лучей в разные сезоны года на столь малом расстоянии существенных поправок в геометрию донно-поверхностных отражений не вносит. Сравнение с тестовой импульсной характеристикой позволяет определить количество отражений для любого импульса и с большой точностью рассчитать пройденное им расстояние. Тогда для решения задачи реконструкции среднего по слою поля температуры достаточно измерить время прохождения одного из этих импульсов (рис. а) и рассчитать скорость, зависящую от средней температуры в слое. Следует отметить, что более точные значения скорости будут получены с учетом расстояния, пройденного импульсом по траектории с меньшим количеством отражений, т.к. минимизируется ошибка, связанная с необходимостью учета рельефа дна между корреспондирующими точками. На рисунке в приведены средние температуры в водном слое, рассчитанные по данным акустического зондирования (светлые кружки), и полученные по данным многолетних океанологических наблюдений (сплошная линия) в данном районе [4].

Наличие импульсов, которые не укладываются в отмеченные выше промежутки времени (они отмечены темными кружками на рис. б), свидетельствуют о появлении в теплое время года рефрагировавших под прогретым слоем воды лучей. Особо следует отметить максимальные по амплитуде импульсы (они отмечены звездочками), полученные при измерениях в августе. Они сформированы лучами, вышедшими под малыми углами и распространяющимися вблизи дна в холодном слое воды. Пройденное расстояние в данном случае приблизительно равно длине акустической трасы и рассчитанные значения температуры в придонном слое составляют около 5 градусов (на рисунке в они обозначены звездочками). Синхронно с измерениями импульсных характеристик в августе проводились измерения вертикального распределения температур в точке размещения приемной системы гидрологическим зондом. На рисунке в темными кружками обозначены значения средних температур во всем слое и температуры в придонном слое. Как видим, измерение температур гидрологическими приборами и акустическими методами дают близкие результаты и в некоторых случаях существенно отличаются от среднегодовых данных.

Таким образом, экспериментально показано, что, анализируя временную структуру импульсной характеристики, можно качественно оценивать вертикальное распределение температур на диагностируемой акватории и осуществлять мониторинг изменчивости средних температур в характерных слоях волновода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Моргунов Ю.Н.* О возможности применения дистанционных акустических средств и методов для термометрии шельфовых зон океана // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 1. С. 45–50.

2. *Акуличев В.А., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Каменев С.И., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А, Стробыкин Д.С.* Термометрия шельфовых зон океана акустическими методами // ДАН. 2006. Т. 409. № 4. С. 543–546.

3. *Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А., Стробыкин Д.С.* Экспериментальные исследования влияния прилива на формирование акустического поля на стационарной трассе в шельфовой зоне Японского моря // Акуст. журн. 2008. Т. 54. № 4. С. 587–588.

4. *Yurasov G.I., Rudyh N.I., Moroz V.V., Dmitrieva E.V., Rostov V.I., Nabiullin A.A., Khrapchenkov F.F., Bunin V.M., Rostov I.D.* Oceanographic Atlas of the Bering Sea Okhotsk Sea and Japan/East Sea // V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute. FEB RAS. Russia. Vladivostok. 2001. in CD. V. 2.