

## РАДИОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОНИКА, АКУСТИКА

**Особенности распространения звукового сигнала в мелком пресном водоеме при разной глубине погружения источника звука**Б. И. Гончаренко,<sup>1,а</sup> А. И. Веденев,<sup>2,б</sup> А. С. Шуруп<sup>1,2,3,в</sup><sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.*<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Россия, 117218, Москва, Нахимовский пр. 36.*<sup>3</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123995, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1.*

Поступила в редакцию 24.05.2019, после доработки 04.07.2019, принята к публикации 11.07.2019.

Анализируются результаты эксперимента по измерению скалярно-векторных характеристик акустического поля в мелком водоеме с газонасыщенном грунтом. Одновременная регистрация звукового давления и трех взаимно ортогональных составляющих колебательной скорости осуществлялась с использованием приемника звукового давления и векторного приемника. В качестве источника, расположенного на глубине водного слоя, использовался буксируемый излучатель тонального сигнала; в качестве источника, расположенного вблизи границы вода-воздух использовался шумовой сигнал от проходящего судна. Показано, что при пространственном затухании составляющих звукового поля наблюдаются существенные вариации уровней звукового давления и составляющих колебательной скорости, вне зависимости от глубины погружения источника звука. При расположении источника звука на глубине водного слоя характер зависимости пространственного затухания составляющих акустического поля различный, а при расположении источника шумового сигнала под поверхностью границы вода—воздух характер затухания амплитуд звукового давления и вертикальной составляющей колебательной скорости одинаков на всей трассе измерения.

*Ключевые слова:* векторно-фазовые методы измерений, пространственное затухание звука в мелком водоеме, векторный приемник.

УДК: 534.6. PACS: 43.60.+d, 43.58.+z.

### **ВВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВОДНОГО ГРУНТА ПРЭСНОГО ВОДОЕМА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА**

Одним из важных факторов для оценки эффективности подводного наблюдения, а также акустического мониторинга морской акватории по акустическим сигналам является пространственное затухание звука. Величины затухания звуковых сигналов, как показано в работе [1], в сильной степени могут изменяться в зависимости от глубин погружения источника звука и приемного устройства, акустических свойств донных отложений, типа источника звука (монополь, диполь). Может наблюдаться существенный разброс пространственного затухания звука, причиной которого является изменчивость акустических свойств донных отложений [2, 3] вдоль трассы распространения сигнала.

Отметим особенности акустических характеристик подводного грунта пресного водоема. В пресноводных водоемах с донным грунтом, в котором содержатся газонасыщенные осадочные породы, всегда есть некоторое количество нерастворимых газов. Основным газом, содержащимся в осадках пресных водоемов, например, озер, водохранилищ, является метан. Как показали расчеты и экспериментальные данные, при увеличении газа до 1% от общего объема грунта скорость звука уменьшается до 100 м/с, т.е. сни-

жается в 15 раз по сравнению со скоростью звука в воде [4]. Экспериментальные данные, полученные на Клязьминском водохранилище [5], подтверждают, что величина скорости звука в дне может быть существенно меньше скорости звука в воде и приблизительно составлять 100 м/с [5]. В этом случае при преломлении звука на границе вода—дно возможен значительный отток энергии в дно, что приводит к увеличению затухания в водном слое.

Еще один важный фактор, определяющий пространственное затухание звукового поля, — структура грунта. В качестве примера такого влияния грунта на рис. 1 приведены оригинальные экспериментальные данные по измерению затухания амплитуды звукового давления на гидроакустическом полигоне, расположенном в акватории Клязьминского водохранилища. Работы были проведены на двух участках пресноводного водохранилища, отстоящих друг от друга на расстоянии не менее 200 м. Глубина водного слоя в обоих случаях была примерно одинаковой и составляла  $\approx 8.5$  м, при этом структура дна на этих участках отличалась. По измерению частотной зависимости разности фаз между звуковым давлением и вертикальной компонентой колебательной скорости первой нормальной волны ранее было показано [6], что модель грунта первого участка можно представить в виде однородного жидкого полупространства с пониженной скоростью звука по отношению к скорости звука в воде. На втором участке выявлена слоистость грунта и была построена его акустическая модель, в которой имеется газонасыщенный слой [6].

<sup>а</sup> E-mail: [goncharenko@phys.msu.ru](mailto:goncharenko@phys.msu.ru)

<sup>б</sup> E-mail: [vedenev@ocean.ru](mailto:vedenev@ocean.ru)

<sup>в</sup> E-mail: [shurup@physics.msu.ru](mailto:shurup@physics.msu.ru)