

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора Федерального государственного бюджетного  
научного учреждения «Федерального исследовательского центра  
Института прикладной физики им. А.В. Гапонова–Грехова  
Российской академии наук»

П.И. Коротин



«26» сентября 2024 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Манульчева Дениса Сергеевича «Методика моделирования антропогенных акустических сигналов на шельфе на основе экспериментальных измерений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7 – Акустика

Перенос энергии звуковых волн в морской среде – сложный процесс, трудность описания которого обусловлена наличием множества факторов, оказывающих существенное влияние на структуры звуковых полей. В первую очередь, это относится к зонам континентального шельфа, где особенности распространения энергии звуковых колебаний связаны с их взаимодействием с морским дном, поверхностью моря, сложной береговой линией, а также со специфическим характером гидродинамических возмущений отдельно взятого района в определенное время дня и сезона.

Диссертационная работа Манульчева Д.С. посвящена изучению и моделированию распространения низкочастотных акустических волн на шельфе, генерируемых в ходе освоения прибрежных районов человеком, и она направлена на создание эффективной методики прогнозирования уровней антропогенных акустических полей от источника в условиях невозможности измерений его ближнего поля и, как следствие, отсутствия сведений о его индивидуальных акустических характеристиках. Актуальность диссертационной работы и ее практическая значимость сомнений не вызывают.

Диссертация Манульева Д.С. состоит из введения, трех содержательных глав, заключения и списка литературы, общим объемом 155 страниц, включая 58 рисунков. Список цитируемой литературы составляют 167 наименований на 20 страницах текста.

Во Введении автор обосновывает актуальность исследуемой темы и ее значимость для подводной акустики, формулирует цели и задачи исследования, представляет положения, выносимые на защиту. Также во Введении отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методы исследования, степень достоверности и апробации результатов.

Глава 1 носит обзорный характер, в ней описаны теоретические и экспериментальные работы по теме пассивного акустического мониторинга, а также приведен обзор типов источников антропогенного шума и технических средства для регистрации звука под водой. Подробно рассмотрены используемые в прикладных задачах физические величины, которые легли в основу исследований. Приведено описание используемого в работе математического инструмента – метода модового параболического уравнения, применяемого в неоднородных подводных звуковых каналах, включая неоднородную геоакустическую структуру дна, с возможностью добавления участков суши для расчета формируемых в них трехмерных акустических полей.

В Главе 2 последовательно рассматривается ряд экспериментальных работ, выполненных с участием автора, по исследованию влияния различных параметров среды на распространение тональных и импульсных акустических сигналов в волноводах, характерных для шельфов Японского и Охотского морей. Автор рассматривает степень влияния на потери звука сезонной изменчивости физических свойств морской воды, неоднородностей поля скорости звука в донных осадках, а также резких скачков параметров волновода, обусловленных наличием берега. Следует подчеркнуть, что каждый эксперимент сопровождается численными расчетами акустических полей, которые количественно сопоставляются с результатами натуральных измерений.

В Главе 3 приводится описание разработанной автором методики построения функции точечного источника, которые основываются на данных измерений ближайшего к источнику гидрофона и используются для задания начальных условий при решении модовых параболических уравнений. Корректность предложенной методики верифицировалась с использованием натуральных данных, полученных в ходе измерений, выполненных в удаленных от источника точках акустического мониторинга. Проведено количественное сравнение результатов моделирования акустических полей с использованием двух математических моделей на основе узкоугольного и широкоугольного модовых параболических уравнений и сделан важный вывод о том, что псевдодифференциальный широкоугольный адиабатический метод дает лучшее согласие с экспериментом. В конце данной главы автор приводит результаты расчета акустического воздействия на акваторию, которое формируется импульсным источником на берегу во



время забивки фундаментных свай. По результатам моделирования оценивается кумулятивный уровень воздействия, которому подвергались серые киты во время передвижения вблизи места проведения шумных работ.

В Заключении приведены основные результаты выполненного в диссертационной работе исследования.

Научная значимость полученных автором результатов может быть оценена как высокая. С нашей точки зрения, к наиболее значимым результатам могут быть отнесены следующие:

1. На основе сопоставления данных серии натурных измерений с результатами численного моделирования продемонстрировано, что метод модовых параболических уравнений является эффективным инструментом количественного прогноза уровней антропогенных акустических сигналов в шельфовых районах.

2. Разработана методика построения математической модели эффективного точечного индустриального источника, корректность модели подтверждена с использованием данных натурных экспериментов. Показано, что разработанная модель обеспечивает точность расчета пространственного распределения параметров антропогенных звуковых сигналов с точностью 2 дБ на дистанциях порядка 10 км.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что представленные в ней результаты согласуются с известными положениями теории распространения звука в неоднородных средах и не противоречат известным результатам отечественных и зарубежных авторов по тематике диссертации.

Основные положения и выводы диссертации представляют значительный интерес для специалистов, занимающихся акустикой морского шельфа и оценками уровней акустического воздействия на представителей морской фауны.

Несмотря на высокую в целом оценку представленной диссертации, следует отметить ряд ее недостатков.

1. Автор систематически не учитывает сдвиговую упругость донных пород при моделировании распространения звука на шельфе и, в особенности, при прохождении звука через участок суши.

2. При моделировании распространения сейсморазведочных импульсов не учитывается пространственная протяженность источника звука (в случае батареи пневмопушек). По всей видимости, это не является критичным для расчетов уровней

шумов в дальнем поле, тем не менее, следовало привести оценки расстояний, на которых данное приближение является адекватным.

3. Разработанную методику моделирования антропогенных акустических сигналов в акваториях шельфа следовало сформулировать в более структурированном виде как последовательность определенных процедур.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокой научной и практической значимости диссертации. Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в публикациях автора, среди которых 11 статей в ведущих профильных журналах. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Манульчева Д.С. «Методика моделирования антропогенных акустических сигналов на шельфе на основе экспериментальных измерений» является законченной научно-квалифицированной работой, в которой представлены новые и практически важные экспериментальные и численные результаты по актуальной проблеме, соответствующей научной специальности 1.3.7. – Акустика. Диссертация удовлетворяет всем требованиям п. 24 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 25.01.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7 – Акустика.

Диссертационная работа Манульчева Д.С. и отзыв на нее обсуждены на квалификационном семинаре Отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН 06.09.2024 г.

Отзыв составили:

заведующий отделом геофизической акустики

кандидат физико-математических наук

Малеханов А.И.

заведующий лабораторией статистических методов в акустике океана ИПФ РАН

доктор физико-математических наук

Вировлянский А.Л.