

Чусов Андрей Александрович

Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. Куйбышева).

E-mail: lpsztemp@gmail.com.

690108, г. Владивосток, ул. Артековская, д. 3, кв. 19.

Тел.: +79147315896.

Аспирант.

Chusov Andrey Alexandrovich

The Far Eastern National Technical University.

E-mail: lpsztemp@gmail.com.

3-19, Artekovskaya Sreet, Vladivostok, 690108, Russia.

Phone: +79147315896.

Postgraduate Student.

УДК 534.222

Б.А. Сальников, Е.Н. Сальникова, Л.Г. Стаценко, С.Ю. Кулик

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДВОДНЫХ АКВАТОРИЙ
НАПРАВЛЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЗВУКА ***

Целью работы является анализ взаимодействия акустических полей подсветки в многолучевых подводных волноводах со случайно-анизотропными и локальными неоднородностями поля скорости звука (ПСЗ). Показано, что при произвольном выборе величины углового раскрытия источника приёмной системой, состоящей из одной вертикальной эквидистантной антенной решетки (ВЭАР), невозможно обнаружить наличие линз в подводном волноводе (ПВ) на фоне изменяющейся стохастичности ПСЗ. В работе обоснована принципиальная возможность выбора угла раскрытия излучающей системы, позволяющего определить наличие линз в ПВ одной ВЭАР.

Случайно-неоднородные подводные волноводы; стохастическое моделирование; антропогенные нарушения поля скорости звука.

B.A. Salmnikov, E.N. Salmnikova, L.G. Statsenko, S.Y. Kulik

**ECOLOGICAL MONITORING OF UNDERWATER AREAS OF DIRECTED
SOUND SOURCES**

The given paper's purpose is analysis of interaction of acoustic fields lightings in multi-ray underwater waveguides with random anisotropic and local inhomogeneities of sound velocity fields (SVF). It is shown that when a receiving system containing of one vertical equidistant antenna array (VEAA) arbitrary chooses an aperture angle value of source it is impossible to determine presence of lenses in underwater waveguides (UW) against changing stochasticity of sound velocity fields (SVF). The possibility in principle to choose such aperture angle value of source system which enables to determine lenses presence in UW with one VEAA is proven in the paper.

Randomly inhomogeneous underwater waveguides; stochastic modeling; human disturbance sound speed field.

Исследование влияния океанических неоднородностей на звуковые поля подсветки водной среды – фундаментальная проблема акустики океана. Реальная мор-

* Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» мероприятие 1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук» (Гос. контракт № 2524 от 20.11.09 г.).

ская среда является комбинацией детерминированных и стохастических структур. Тонкоструктурная стратификация во многом определяет процессы тепломассопереноса как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях. Антропогенные факторы могут, с одной стороны, деформировать или разрушать её, с другой стороны, создавать свои слоистые структуры. Поэтому мониторинг тонкоструктурной стратификации важен как в климатологическом и экологическом отношениях, так и для систем подводного наблюдения за антропогенными нарушениями поля скорости звука [1].

С развитием математических методов расчёта и технических средств исследования распространения звука в реальной океанической среде, а также с появлением мощных компьютеров пришло понимание о необходимости районирования подводных акваторий не только по средним вертикальным распределениям скорости звука, но и по характеристикам тонкоструктурной стратификации [2, 3]. Наибольшую актуальность эта проблема приобретает при выборе мест расположения систем подводного мониторинга различного назначения.

Основная идея косвенных методов районирования подводных акваторий по уровню неоднородности тонкой структуры – случайной компоненты поля скорости звука – заключается в том, что по результатам натурального акустического эксперимента по дальнему распространению определяется режим стохастичности гидрофизических параметров водной среды. Вертикальные распределения акустического поля (ВРАП), полученные в натурном эксперименте, или некоторые характеристики, рассчитанные с использованием экспериментальных ВРАП, сравниваются с расчётной базой данных, для определения соответствия экспериментальных функции ВРАП одному из режимов стохастичности (слабые флуктуации, сильные флуктуации и режим насыщения).

В [4] приведена физико-математическая модель распространения звука в случайно-неоднородных подводных волноводах (СНПВ), основанная на численном решении уравнения лучевых траекторий в переменном поле скорости звука, полученного непосредственно из принципа Ферма. Для моделирования стохастичности параметров водной среды использован метод Монте-Карло. Результаты численных экспериментов по моделированию распространения звука в СНПВ показали, что по виду и степени искажений вертикальных распределений акустического поля существует принципиальная возможность классификации подводных волноводов по уровню случайной компоненты поля скорости звука. Угол раскрытия источника соответствовал режиму однолучевого приёма для детерминированной модели вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) на дискретных вертикальных разрезах, за исключением дальностей в районах заворота лучей и центров верхних и нижних зон конвергенции (ВЗК и НЗК). Аналогичные результаты были получены и для случая многолучевого приёма. Здесь следует отметить, что термины «однолучевой» и «многолучевой» приёмы имеют смысл лишь для детерминированной модели ВРСЗ и используются лишь для того, чтобы указать на исходные параметры численного эксперимента, а именно на величину углового раскрытия источника излучения [5]. В реальных подводных волноводах всегда присутствует случайная компонента поля скорости звука, приём многолучевой.

Основная трудность районирования подводных акваторий по уровню случайной компоненты поля скорости звука по степени изменения вида функций ВРАП заключается в том, что эти изменения зависят не только от уровня случайной компоненты поля скорости звука $\Delta C^{\infty}(x,z)$, но и от расстояния между источни-

ком и приёмной системой, а также от вида вертикального профиля детерминированной компоненты поля скорости звука. На рис. 1 приведены функции ВРАП на границах 4ВЗК на дальностях 103 км (координата границы между центрами 3НЗК и 4ВЗК) и 116 км (координата границы между центрами 4ВЗК и 4НЗК) в зависимости от уровня $\Delta C^{\approx}(x,z)$ для различных угловых размеров источника. Источник расположен на глубине 1700 м, ось подводного звукового канала на глубине 1000 м. Поле рассчитывалось по лучевой программе [4], количество экспериментов для каждого варианта равно 1000.

На рисунках по оси ординат отложена глубина $z = \Delta z \cdot n$ – текущая координата глубины, $\Delta z = 50$ м – интервал усреднения акустического поля по глубине, $n = 1 \div 40$ – номер дискретного отчёта по глубине (дискретная координата глубины).

Угловой раскрыв источника $[\pm 5,0^\circ]$ соответствует водным лучам, распространяющимся в СНПВ без отражения от дна и поверхности моря. Из анализа результатов численного эксперимента, представленных на рис. 1, следует, что ВРАП на границах 4ВЗК имеют различное количество максимумов, а степень искажения вида функций ВРАП с ростом уровня $\Delta C^{\approx}(x,z)$ носит весьма сложный характер, что затрудняет идентификацию информативных признаков влияния тонкоструктурных неоднородностей поля скорости звука на зональную структуру акустических полей подсветки водной среды при различных распределениях детерминированной компоненты поля скорости звука.

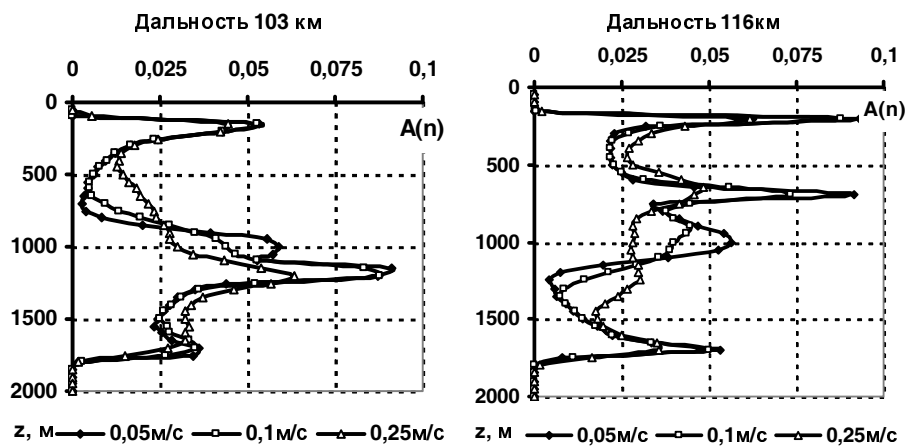


Рис. 1. Динамика изменения функций ВРАП при росте уровня $\Delta C^{\approx}(x,z)$, угловой раскрыв источника $[\pm 5,0^\circ]$

На рис. 2 приведены аналогичные зависимости для углового раскрыва источника, соответствующего приосевому угловому излучающему кластеру (ПУИК), который состоит из двух пологих угловых излучающих кластеров, отрицательного и положительного, каждый из которых реализует однолучевой приём для детерминированной модели ВРСЗ на дальности 116 км. Величина ПУИК определена по $z-\varphi-\theta$ -диаграммам, где z – глубины прихода лучевых траекторий на вертикальный разрез, φ – углы выхода лучей из источника, θ – углы прихода лучей на вертикальный разрез [5]. ПУИК обладает исключительно полезными свойствами как для исследования фоновой стохастичности подводных акваторий, так и обнаружения антропогенных нарушений ПСЗ. Функции ВРАП при угловом раскрыве источни-

ка, равном ПУИК, на всех дальностях, меньших той, для которой он был определен (в нашем случае это 116 км), всегда имеют не более двух максимумов при любых законах изменения детерминированной компоненты ВРСЗ. При этом для лучей, распространяющихся от дна к поверхности моря (см. рис. 2 – дальность 103 км), происходит засветка зон тени в сторону уменьшения глубин, а для лучей, распространяющихся в сторону дна (см. рис. 2 – дальность 116 км), – в сторону увеличения глубин. Увеличение уровня засветки зон тени является надежным информативным признаком увеличения фоновой стохастичности гидрофизических параметров водной среды.

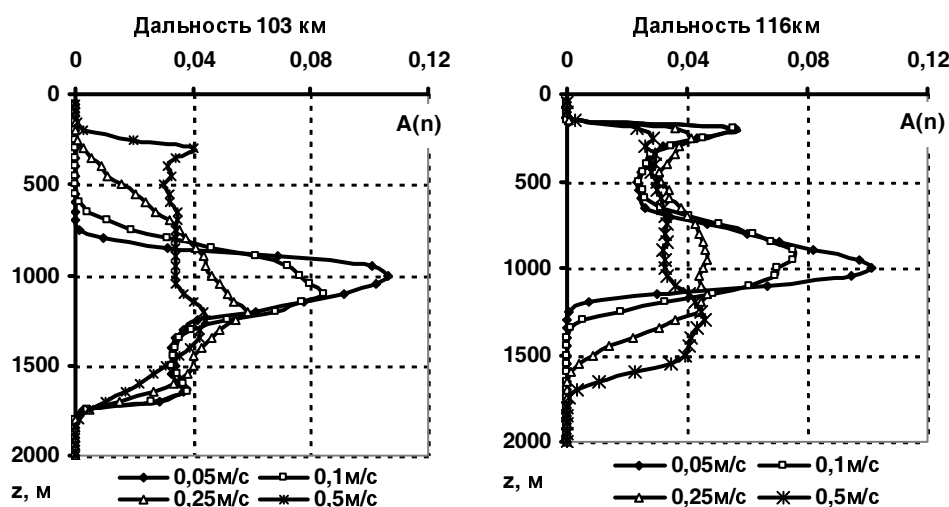


Рис. 2. Динамика изменения функций ВРАП при росте уровня $\Delta C^{\pm}(x,z)$, угловой раскрыв источника $[-2,7^{\circ}; +2,5^{\circ}]$

Дальнейшие исследования были посвящены анализу степени и вида искажений функций ВРАП антропогенным возмущением поля скорости звука на различных глубинах и дальностях. Антропогенное возмущение моделировалось эллиптической термоклинной линзой с размерами по горизонтали 1 000 м и по вертикали 100 м. Скорость звука в центре линзы отличалась от опорной на $\Delta C^{\pm}(x,z) = \pm 5$ м/с, к краям линзы $\Delta C^{\pm}(x,z)$ спадала по параболическому закону до уровня опорной, фоновая стохастичность соответствовала режиму слабых флуктуаций $\Delta C^{\pm} = 0,1$ м/с. При раскрытии источника $[\pm 5,0^{\circ}]$ увеличение стохастичности и наличие линз приводит к одинаковым изменениям вида функций ВРАП. Для приосевого кластера $[-2,7^{\circ}; +2,5^{\circ}]$ наличие стохастичности не увеличивает количества максимумов функции ВРАП, в то время как присутствие линзы увеличивает их количество. Это является надежным информативным признаком обнаружения линзы. Результаты эксперимента приведены на рис. 3, 4.

В численном эксперименте центр линзы располагался на глубинах 1 750 м, 650 м, 250 м на дальностях 31 км (координата центра 1НЗК), 41 км (координата границы между 1НЗК и 2ВЗК), 47 км (координата центра 2ВЗК) соответственно.

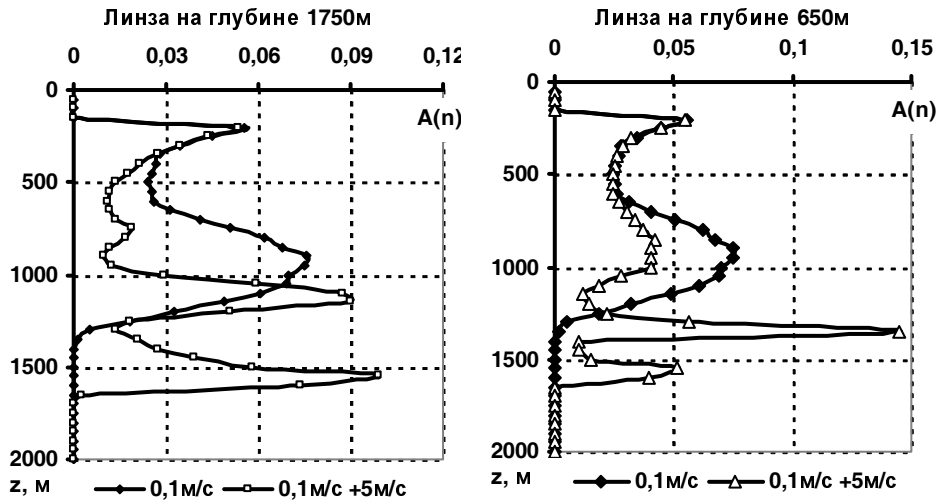


Рис. 3. Изменение вида функции ВРАП при наличии положительной линзы в подводном волноводе при уровне фоновой стохастичности 0,1 м/с, угловой раскрыв источника $[- 2,7^\circ; + 2,5^\circ]$

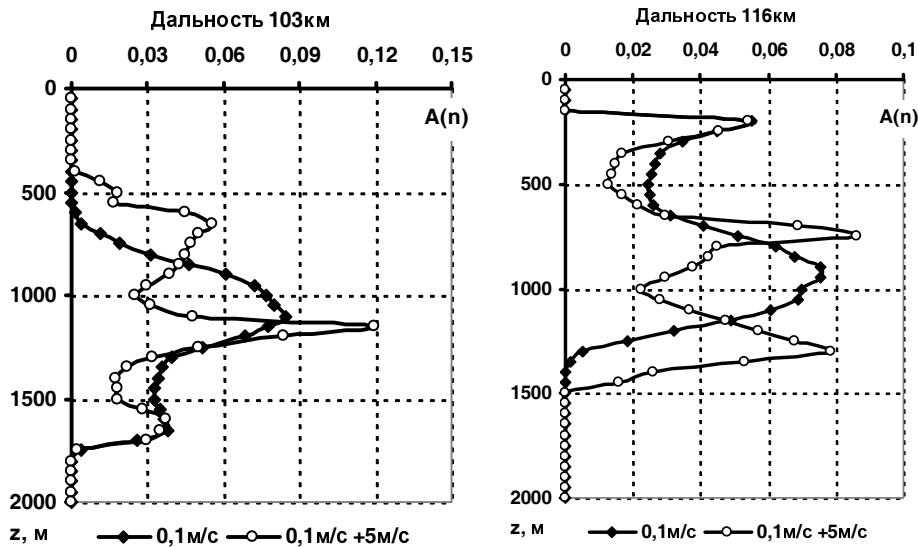


Рис. 4. Динамика изменения функций ВРАП при наличии положительной линзы на глубине 250 м на дальностях 103 км и 116 км, угловой раскрыв источника $[- 2,7^\circ; + 2,5^\circ]$

Проведенные исследования показали, что оптимальным угловым раскрывом источника является приосевой излучающий кластер, величина которого определяется по z - φ - θ -диаграммам в зависимости от расстояния между источником и приемной системой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гостев В.С., Швачко Р.Ф.* Акустические эффекты в океане с тонкоструктурной стратификацией (натурные эксперименты, компьютерное моделирование) // Акустика океана. Доклады XI школы семинара акад. Л.М. Бреховских, совмещенной с XVII сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 215-219.
2. *Гостев В.С., Швачко Р.Ф.* Региональная изменчивость эффекта проникновения звука в зоны тени в океане с тонкоструктурной стратификацией // Акуст. журн. – 2001. – Т. 47, № 5. – С. 623-631.
3. *Гостев В.С., Попов О.Е., Швачко Р.Ф.* Компьютерное моделирование звуковых полей в океане с тонкоструктурными неоднородностями // Акуст. журн. – 2003. – Т. 49, № 6. – С. 778-784.
4. *Сальников Б.А., Сальникова Е.Н.* Моделирование и исследование зональной структуры акустических полей в случайно-неоднородных подводных волноводах // Подводные исследования и робототехника // Научно-технический журнал ДВО РАН. Институт проблем морских технологий. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С. 47-57.
5. *Сальников Б.А., Сальникова Е.Н., Стаценко Л.Г., Кулик С.Ю., Миргородская Ю.В.* Исследование зональной структуры акустических полей в многолучевых случайно-неоднородных подводных волноводах // Акустические измерения и стандартизация. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустика океана. Сб. тр. XXII сессии Российского акустического общества и Сессии Научного совета РАН по акустике. Т. 2. – М.: ГЕОС, 2010. – С. 210-213.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Н.Н. Чернов.

Сальников Борис Александрович

Дальневосточный государственный технический университет.

E-mail: salnikovb@mail.ru.

690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10.

Тел.: +79242425100.

Ведущий научный сотрудник департамента науки и инноваций; старший научный сотрудник; к.ф.-м.н.

Сальникова Евгения Николаевна

E-mail: en_salnikova@mail.ru.

Тел.: +79147235843.

К.ф.-м.н.; доцент.

Стаценко Любовь Григорьевна

E-mail: lu-sta@mail.ru.

Тел.: +79025246057.

Зав. кафедрой радио, телевидения и связи; д.ф.-м.н.; профессор.

Кулик Сергей Юрьевич

E-mail: kulikser@mail.ru.

Тел.: +79147009359.

Аспирант кафедры радио, телевидения и связи.

Salnikov Boris Aleksandrovich

Far Eastern State Technical University.

E-mail: salnikovb@mail.ru.

10, Pushkinskaya Street, Vladivostok, 690950, Russia.

Phone: +79242425100.

Leading Researcher Employee of Department of a Science and Innovations; Senior Scientific Employee; Cand. of Phis.-Math. Sc.

Salnikova Evgeniya Nikolaevna

E-mail: en_salnikova@mail.ru.

Phone: +79147235843.

Cand. of Phis.-Math. Sc.; Associate Professor.

Statsenko Lubov Grigorievna

E-mail: lu-sta@mail.ru.

Phone: +79025246057.

Head of Department of Radio, Television and Communication, Dr. of Phis.-Math. Sc.;
Professor.

Kulik Sergey Yurievich

E-mail: kulikser@mail.ru.

Phone: +79147009359.

Postgraduate Student of Department of Radio, Television and Communication.

УДК 534.23

Л.Г. Стаценко, Д.В. Злобин

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ
В ОДНОРОДНОМ ВОЛНОВОДЕ***

На основе обобщенной теории выполнено компьютерное моделирование процессов формирования направленного излучения в волноводе для определения оптимальных условий возбуждения и приема придонной волны, которая является особым видом пограничного волнового движения на границе раздела вода – морское дно. Показано, что придонная волна является доминирующей в поле донного излучателя. Сделан вывод об эффективности применения донных излучателей монопольного типа для возбуждения придонной волны.

Обобщенная теория нормальных волн; импедансная граница раздела; придонная волна; донный излучатель.

L.G. Statsenko, D.V. Zlobin

**SPATIAL STRUCTURE OF VERTICAL ANTENNA FIELD
IN HOMOGENEOUS WAVEGUIDE**

Computer modeling of processes of directed radiation formation in waveguide for definition of optimum conditions of excitation and reception of the subbottom wave is carry out on the base of the generalized theory. The subbottom wave represent a special kind of boundary wave motion water – sea-bottom interface. It is shown, that the subbottom wave is dominating in the field of ground projector. It is drawn a conclusion on efficiency of application of ground projectors of monopole type for excitation of subbottom wave.

Generalized theory of normal waves; impedance interface; subbottom wave; bottom radiator.

Физические явления, обеспечивающие подсветку донного полупространства, могут являться основой для разработки методов и приборов для контроля морского дна. Обобщенная теория нормальных волн в слоистых средах [1] прогнозирует существование придонной волны, которая может быть использована для работы морского томографа [2]. Генерация придонной волны может осуществляться установленной на дно вертикальной антенной с характеристикой направленности монопольного или дипольного типа. Другим следствием обобщенной теории нормальных волн является эффект самофокусировки – появление фокального пятна на оси симметрии в нижнем полупространстве, размеры и глубина которого зависят от положения источника. В образовании фокального пятна основную роль играет

* Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» мероприятие 1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук» (Гос. контракт № 2524 от 20.11.09 г.).