

Лучевой и волновой хаос в подводном звуковом канале

В результате теоретического и численного исследования распространения звука в неоднородном подводном звуковом канале получено адекватное объяснение целому ряду эффектов, наблюдаемых в экспериментах по дальнему распространению низкочастотного звука в океане: устойчивость ранней части принимаемого сигнала, образование устойчивых фрагментов волнового фронта (когерентных кластеров), аномально сильное затухание звука. Выявлены критерии, позволяющие осуществлять анализ характеристик крупномасштабных неоднородностей по структуре принимаемого сигнала. Выявлены механизмы влияния профиля скорости звука и характеристик поля внутренних волн на свойства волнового поля. Полученные результаты могут быть использованы для акустической томографии океана и для передачи и обработки акустических сигналов в подводном звуковом канале.

Рассматривается задача о дальнем распространении звука в океане. В коротковолновом пределе мы вправе воспользоваться лучевым приближением. Слабая горизонтальная изменчивость скорости звука, обусловленная внутренними волнами, приводит к хаосу звуковых лучей. Наши усилия направлены на выявление основных особенностей лучевого хаоса в океане, а также на анализ проявлений лучевого хаоса при конечной длине волны, т. е. так называемой проблеме волнового хаоса. В своей работе мы активно используем методы и подходы, разработанные для классических и квантовых гамильтоновых систем.

1. Д.В. Макаров, С.В. Пранц, М.Ю. Улейский. Структура пространственного нелинейного резонанса лучей в неоднородном подводном звуковом канале. Доклады АН. Т.382 N3 (2002) С.394-396.

2. Макаров Д.В., Улейский М.Ю. Детерминированный хаос лучей в неоднородном подводном звуковом канале. Сборник трудов ТОИ ДВО РАН, Океанологические исследования. Владивосток: Дальнаука. 2002. С.147-154.

2003

1. Д.В. Макаров, М.Ю. Улейский, С.В. Пранц. О возможности определения характеристик внутренних волн по данным распределения времен прихода лучей в подводном звуковом канале в условиях хаоса. Письма в Журнал технической физики. Т.29. N10 (2003) С.70-76.

2. С.В. Пранц. Нелинейная динамика, хаос и фракталы. Вестник ДВО РАН. No 2 (2003) С.30-46.

3. D.V. Makarov, M.Yu. Uleysky, S.V. Prants. Ray chaos and ray clustering in an ocean waveguide under internal-wave induced single-mode, random-like, and mixed perturbations. e-print archive, nlin. CD/0306056 (2003).

2004

1. [D.V. Makarov, M.Yu. Uleysky, S.V. Prants. Ray chaos and ray clustering in an ocean waveguide. Chaos. V.14. N1 \(2004\) P.79-95.](#)

2. [Д.В. Макаров. "Нелинейная динамика лучей в неоднородном подводном звуковом канале" \(Дисс. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук под руковод. дф-мн С.В. Пранца\).](#)

3. [Д.В. Макаров. "Нелинейная динамика лучей в неоднородном подводном звуковом канале"](#) ([Автореферат диссертации](#))
4. С.В. Пранц. Нелинейная фрактальная динамика. В сб. Нелинейные динамические процессы (под ред. С.В. Пранца). Владивосток, Дальнаука. 2004. С.16-46.
5. Макаров Д.В. Хаотическая динамика звуковых лучей в подводных звуковых каналах. В сб. "Нелинейные динамические процессы" (под ред. С.В. Пранца). Владивосток, Дальнаука. 2004. С.47-62.
6. Макаров Д.В., Улейский М.Ю.. Влияние локальных вариаций профиля скорости звука на динамику лучей в подводном звуковом канале в условиях хаоса. Доклады 10-ой научной школы-семинара акад. Л.М. Бреховских "Акустика океана", совмещенной с XIV сессией РАО. М.:ГЕОС. 2004. С.134-137.
7. Макаров Д.В., Улейский М.Ю. Когерентные лучевые кластеры в неоднородном подводном звуковом канале. Доклады 10-ой научной школы-семинара акад. Л.М. Бреховских "Акустика океана", совмещенной с XIV сессией РАО. М.:ГЕОС. 2004. С.138-141.
8. [Макаров Д.В., Улейский, М.Ю. Мартынов М.Ю. Влияние вертикальной структуры поля неоднородности подводного звукового канала на динамику звуковых лучей. Сборник трудов XV сессии Российского акустического общества. Нижний Новгород, 2004. Т.2. С.140-143.](#)

2005

1. [М.Ю. Улейский. "Исследование статистических свойств хаотических нелинейных колебаний в гамильтоновых системах" \(Дисс. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук под](#)

[руковод. дф-мн С.В. Пранца\).](#)

2. [М.В. Будянский, М.Ю. Улейский "Эволюция пятен пассивной примеси в поле случайных скоростей"](#) (видео)

2006

Makarov D.V., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V., and Prants S.V. Clustering in randomly driven Hamiltonian systems. Physical Review E. V. 73. 066210 (2006).

2007

1. Макаров Д.В., Улейский М.Ю. Высвечивание лучей из горизонтально-неоднородного подводного звукового канала. Акустический журнал. Т. 53. С. 565-573 (2007).

2. Макаров Д.В., Коньков Л.Е. Хаотическая диффузия при распространении звука в подводном звуковом канале. Нелинейная динамика. Т. 3. С. 157-174 (2007). 3. Kon'kov L.E., Makarov D.V., Sosedko E.V., Uleysky M.Yu. Recovery of ordered periodic orbits with increasing wavelength for sound propagation in a range-dependent waveguide. Physical Review E. V. 76. 056212 (2007).

2008

Макаров Д.В., Коньков Л.Е., Улейский М.Ю. Соответствие между лучевой и волновой картинами и подавление хаоса при дальнем распространении звука в океане. Акустический журнал. Т. 54. С. 439-450 (2008).

2010

1. Makarov D.V., Kon'kov L.E., Uleysky M.Yu. Wave chaos in underwater acoustics. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. V. 3. P. 336-348 (2010). 2. D. Makarov, S. Prants, A. Virovlyansky, and G. Zaslavsky. Ray and wave chaos in ocean acoustics: chaos in waveguides. (Singapore: World Scientific, 2010. 388 p.

2012

□

1. А.Л. Вировлянский, Д.В. Макаров, С.В. Пранц. Лучевой и волновой хаос в подводных акустических волноводах. Успехи физических наук. Т.182, вып.1 (2012) 19-48.

2015

1. S.V. Prants. Backward-in-time methods to simulate chaotic transport and mixing in the ocean. Physica Scripta V. 90 074054 (2015). doi:10.1088/0031-8949/90/7/074054 Science 1.2.

2. S.V. Prants, M.V. Budyansky, M.Yu. Uleysky, J. Zhang. Hyperbolicity in the ocean. Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity. V.4, N3 pp. 257-270 (2015). DOI: 10.5890/DNC.2015.09.004

2016

1. Pavel S. Petrov, Sergey V. Prants and Tatyana N. Petrova. Analytical Lie-algebraic solution of a 3D sound propagation problem in the ocean Physics Letters A. V.381 P.1921-1925 (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2017.04.011> 10375-9601/2017

2018

Makarov D. Random matrix theory for low-frequency sound propagation in the ocean: a spectral statistics test. Journal of Theoretical and Computational Acoustics. 2018. V. 26. 1850002.