



УДК 532.528

**Мельников Николай Павлович**, к.ф.-м.н. НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а

## МЕРИДИАНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАВИТАЦИОННЫХ ПОРОГОВ МОРСКОЙ ВОДЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

*Ключевые слова: кавитационный порог, кавитационная прочность морской воды*

*Аннотация. В работе обсуждается пространственная изменчивость величины кавитационной прочности и других параметров морской воды на меридианальном разрезе в Филиппинском море. Измерения были выполнены в 14 рейсе Научно-исследовательского судна «Академик Александр Виноградов» весной 1989 года. Отмечается значительная изменчивость этих параметров при пересечении водных масс от 126° в.д. до 140° в.д. на широте около 15° с.ш.*

Начиная с середины прошлого века, идут непрерывные и обширные научные исследования Мирового океана. Исследования приповерхностного слоя вод морей и океанов являются составной частью этих исследований. Причины, вызывающие такие исследования очевидны. В приповерхностном слое океана происходит основная биологическая активность, поскольку только в приповерхностный слой проникает достаточное для активной биологической деятельности количество солнечного излучения. Кроме того, именно на морском шельфе идут геологические работы по нахождению новых месторождений нефти и газа.

В морской воде содержится большое количество микронеоднородностей различного происхождения – это твердые и мягкие взвеси, фито и зоопланктон, пузырьки, растворенные газы и другие гомогенные неоднородности, имеющие то же фазовое состояние, продукты распада биологического материала, являющиеся составными частями карбонатной системы, рыбы и другие организмы различного размера [1- 3].

Присутствие в воде пузырьков (их концентрация, а также их распределение по размерам) влияет на затухание, рассеяние и отражение акустических волн. Присутствие пузырьков также влияет на нелинейный параметр морской воды и величину её кавитационной прочности [1].

Каждая жидкость имеет свою прочность на разрыв. Эта прочность всегда значительно меньше теоретически рассчитанной прочности, под которой понимают величину межмолекулярных связей [4, 5]. Принято считать, что низкая прочность жидкостей связана с присутствием в её объеме различного рода примесей, обычно называемых «зародышами кавитации».

Многочисленные эксперименты показывают, что прочность реальных жидкостей меняется в широких пределах. Так как концентрация «зародышей кавитации» в морской воде, а также их распределение по размерам и по пространству являются случайными величинами [6], то прочность воды является статистической величиной. Тот факт, что различные параметры морской воды имеют естественную неоднородность и нестационарность, а её гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические параметры различны в разных частях Мирового океана, привел к тому, что прочность морской воды имеет значительную пространственную и временную изменчивость [7,8].

В натуральных условиях измеряют так называемые пороги кавитации, так как перенести известные лабораторные методы измерения прочности жидкости в морские условия практически невозможно. Таким образом, кавитационные пороги служат некой мерой невозмущенной прочности жидкости. Достижение порога кавитации характеризуется появлением неустойчивых кавитационных полостей [9].

Зародыши кавитации превращаются в неустойчивые паровые или газо-паровые каверны или пузырьки при приложении к жидкости переменных полей давления или при её растяжении. Движение этих каверн порождает широкий круг явлений, имеющий общее название кавитация. Переменные поля давления возникают в жидкости при её течении или при излучении в жидкость акустических волн. Регистрация порогов кавитации связаны с появлением в жидкости характерного для кавитации явления. В нашем случае критерием возникновения кавитации служит появление акустического шума с определенными характеристиками (выше некоторой заданной величины). Критерии возникновения кавитации подробно рассмотрены в работе [9].

Все измерения кавитационных порогов в Мировом океане проводились по единой методике. Научно-исследовательское судно двигалось по заданному маршруту в соответствии с программой экспедиции. В заданной точке после остановки судна с его борта опускалась на заданные глубины измерительная установка, состоящая из акустического концентратора цилиндрической формы и измерительного гидрофона. Измерения проводились на частотах 5кГц, 10 кГц и 15 кГц в приповерхностном слое на глубинах от 5 м до 100 м. Исходя из того факта, что кавитационная прочность является статистической величиной, которая распределена по нормальному закону, проводилось не менее десяти измерений кавитационных порогов для проведения статистической обработки. Коэффициент вариации порога акустической кавитации не превышает 5 %. Все измерения кавитационных порогов можно считать независимыми, так как из-за бортовой качки объем воды внутри акустического концентратора непрерывно обновлялся.

Сотрудниками Сухумского филиала Акустического института АН СССР, а позднее сотрудниками Тихоокеанского океанологического института АН СССР были проведены измерения кавитационных порогов в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах и различных морях бассейнов Атлантического Индийского и Тихого океанов. Для выявления статистических взаимосвязей величины кавитационной прочности морской воды с различными гидрофизическими, гидрохимическими и гидробиологическими параметрами совместно с измерением кавитационных порогов измерялись: температура  $T^{\circ}\text{C}$ , соленость  $S\%$ , концентрация кислорода  $O_2$ , мл/л,  $O_2\%$ , концентрация азота  $N_2$ , мл/л,  $N_2\%$ , общее газосодержание  $V$ , мл/л,  $V\%$ , концентрация биомассы  $m_{cl}$ , мг/м<sup>3</sup>, общая щелочность  $Alk$ , мг-экв/л, кислотность рН, общее содержание неорганического углерода  $\Sigma\text{CO}_2$ , ммоль/л, концентрация биогенных элементов: нитриты  $\text{NO}_2$ , мкг/л, фосфаты  $\text{PO}_4$ , мкг/л, кремний  $\text{Si}$ , мкг/л, а также прозрачность  $\alpha$  (м<sup>-1</sup>). Анализ экспериментальных данных показал, что существуют глубокие различия статистических связей величины кавитационных порогов с параметрами морской воды для различных районов Мирового океана. Можно выделить два типа районов. Первый – это широтные разрезы, где идет пересечение различных водных масс, когда измерения проводятся от высоких широт до

тропиков, и второй – это компактные районы измерений (полигоны или суточные станции, когда судно лежит в дрейфе в течение нескольких суток).

Измерения кавитационных порогов морской воды, как правило, проводились на больших широтных разрезах, на ограниченных несколькими градусами «полигонах» для изучения её пространственной изменчивости и в отдельных точках для исследования временной изменчивости кавитационной прочности. В настоящей работе впервые приведена изменчивость кавитационной прочности морской воды на меридианальном разрезе, проведенной в Филиппинском море на широте около  $15^{\circ}$  с.ш. и в пределах от  $126^{\circ}$  в.д. до  $140^{\circ}$  в.д. На рис.1 и рис.2 приведены зависимости величины кавитационной прочности и других параметров морской воды для глубин от 5 м до 70 м от долготы.

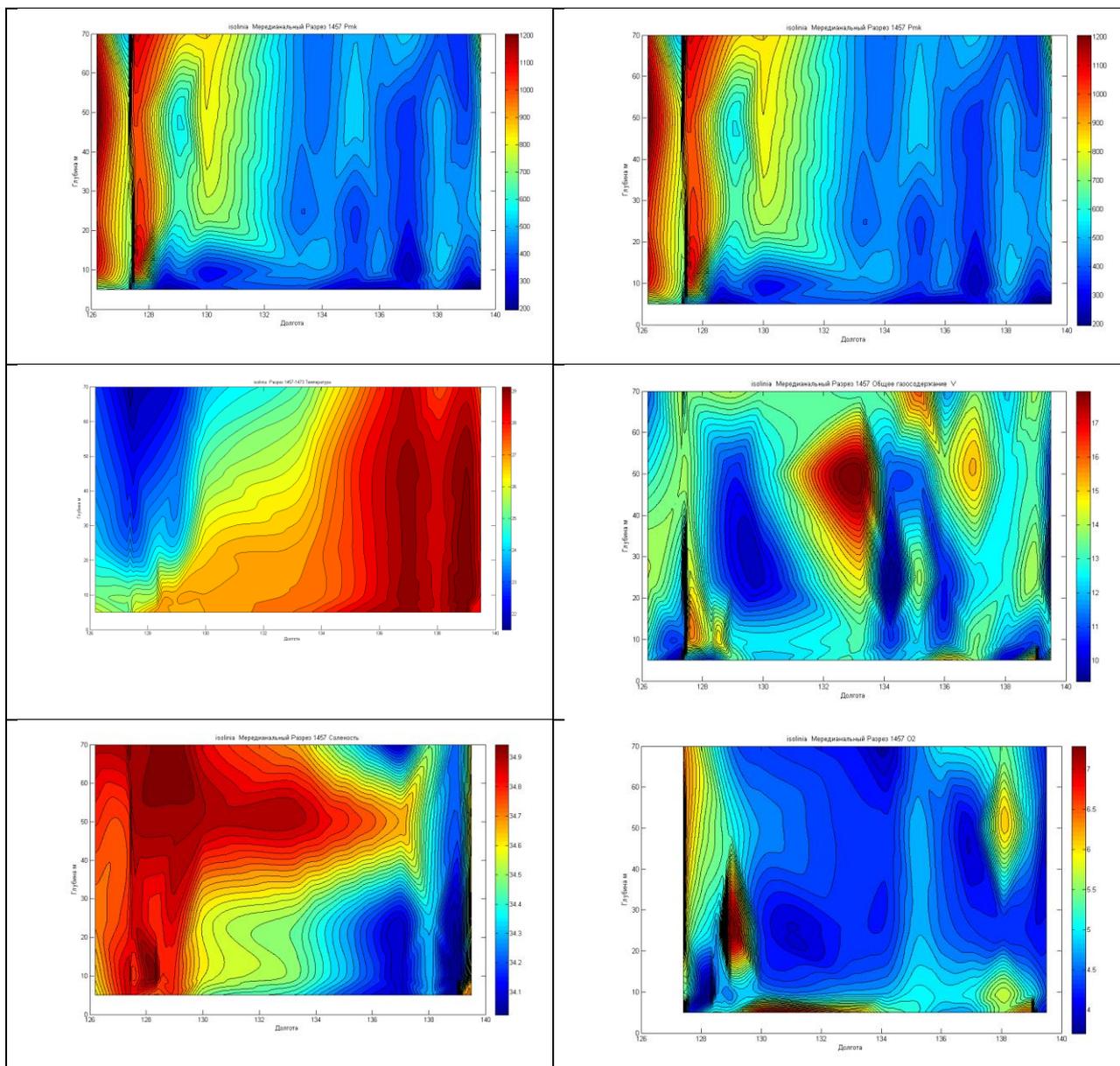
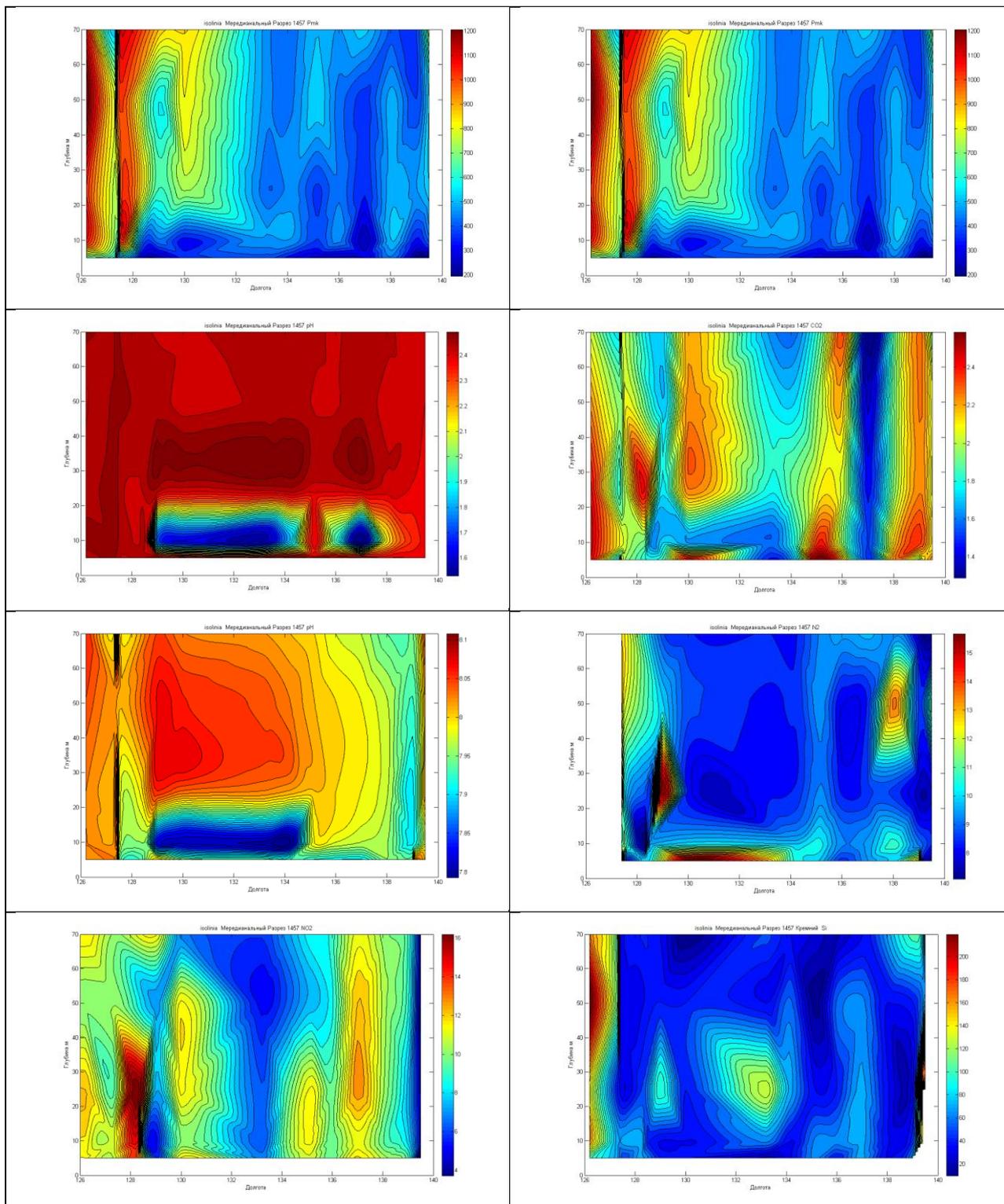


Рис.1 левая колонка: сверху кавитационная прочность, в центре температура  $T^{\circ}\text{C}$ , внизу соленость  $S\text{‰}$ , правая колонка: сверху кавитационная прочность, в центре общее газосодержание  $V$ , мл/л, внизу концентрация кислорода.



*Рис.2 левая колонка: сверху вниз – кавитационная прочность, щелочность Alk, кислотность pH, концентрация азота N<sub>2</sub>; правая колонка: сверху вниз – кавитационная прочность, сумма CO<sub>2</sub>, концентрация нитритов N<sub>2</sub>, концентрация кремния Si.*

Как можно видеть, на этих рисунках зависимости величины кавитационной прочности и остальных параметров морской воды имеют значительную изменчивость. До сих пор значительная изменчивость кавитационной прочности морской воды фиксировалась на глобальных широтных разрезах и в динамически активных зонах

Мирового океана. Значительная изменчивость величины кавитационных порогов в меридианальном направлении фиксируется впервые.

На рис.1 видно хорошее соответствие изменчивости кавитационной прочности с изменчивостью температуры и солености, в то же время изменчивость общего газосодержания и концентрации кислорода качественно не связаны с изменчивостью кавитационной прочности. Исходя из теоретических предпосылок, чем выше концентрация растворенного газа, тем ниже должна быть величина кавитационной прочности. Для других параметров морской воды наблюдается такая же ситуация за исключением такого элемента карбонатной системы, как сумма  $\text{CO}_2$ . На рис.2 видно, что изменчивость суммы  $\text{CO}_2$  качественно связана с изменчивостью величины кавитационной прочности. Как известно, этот параметр морской воды частично отражает присутствие в воде «микронеоднородностей» биологического происхождения.

Таким образом:

- изменчивость кавитационной прочности по меридиану имеет значительную величину,
- эта изменчивость связана с присутствием в воде микронеоднородностей биологического происхождения.

### Список литературы:

- [1] В.А. Акуличев, В.А. Буланов Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. Владивосток, 2017, 413 с.
- [2] Перник А.Д. Проблемы кавитации. Л.: Судостроение, 1966, 439 с.
- [3] Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974, 699 с.
- [4] Коренфельд М. Упругость и прочность жидкостей ГИТТЛ, 1951, 109 с.
- [5] Briggs L.V. Limiting Negative Pressure of Water. // J. Appl. Phys. 1950, v.21, p.721-722.
- [6] Елистратов В.П., Корец В.Л. Исследования кавитационных характеристик океана акустическим методом // Доклады IX Всесоюзной Акустической конференции. Секция Д., М: 1977, с. 77 – 79.
- [7] Ильичев В.И., Елистратов В.П., Корец В.Л., Мельников Н.П. Широкая изменчивость кавитационной прочности морской воды. // ДАН ,1992, т.324, №5, с. 1108 – 1110.
- [8] Мельников Н.П., Елистратов В.П. Временная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. 2014. № 6. 146340 (1-7)
- [9] Pyichev V.I., Korets V.L. and Melnikov N.P. Spectral characteristics of acoustic cavitation // Ultrasonics, 1989, vol. 27, № 6, pp. 357 – 361.

## MERIDIANAL VARIABILITY OF CAVITATION THRESHOLDS OF SEA WATER IN THE NORTHWESTERN PACIFIC OCEAN

Nikolai P. Melnikov

*Key words: the cavitation threshold, the cavitation resistance of sea water*

*The paper discusses the spatial variability of the cavitation strength and other parameters of sea water in the Meridian section of the Phillipine sea. The measurements were performed in the 14th voyage of the Research vessel "Academician Alexander Vinogradov" in the spring of 1989. There is a significant variability of these parameters at the intersection of water masses from 126° to 140° V. D. V. D. at a latitude of approximately 15° North latitude.*