



УДК 532.528

Мельников Николай Павлович, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Мельникова Анна Николаевна, студентка ННГУ им. Н.И. Лобачевского, физический факультет
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
603951, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

МЕЛКОМАСШТАБНАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАВИТАЦИОННЫХ ПОРОГОВ МОРСКОЙ ВОДЫ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Аннотация. В работе исследуется пространственная и временная изменчивость величины кавитационных порогов, щелочности и кислотности рН морской воды на малых пространственных масштабах в экваториальной части Тихого океана. Обнаружена периодическая изменчивость величины кавитационных порогов, щелочности и кислотности на малых пространственных масштабах, а также периодическая изменчивость этих параметров в течении суток.

Ключевые слова: кавитационная прочность жидкости, кавитационный порог морской воды

При понижении давления в жидкости в ней возникает явление, называемое кавитацией.

Если кавитация возникает в потоке жидкости, то она носит название гидродинамическая кавитация. Если кавитация возникает в жидкости под действием акустических полей, достаточной величины, она называется акустической кавитацией. Это различие достаточно условное, так как физические процессы в жидкости, вызываемые как гидродинамической, так и акустической кавитацией имеют одну природу. Суть этого явления заключается в появлении в жидкости каверн и пузырьков под действием пониженного давления. Движение этих каверн и пузырьков в переменных полях давления порождает все физические процессы, присущие кавитации. Каверны и пузырьки появляются при давлениях намного больших чем при давлениях, обеспечивающих молекулярный разрыв жидкости [1]. Такой физический процесс возможен только при наличии в жидкости некоторых «слабых мест», носящих название «зародыши кавитации». Таким образом невозмущенная жидкость имеет некую прочность на разрыв, называемую кавитационной прочностью жидкости, и которая связана с присутствием в жидкости зародышей кавитации. При измерении кавитационной прочности жидкость подвергается воздействию экспериментальной установки, которая понижает в жидкости давление. Это может быть или акустическое воздействие, или гидродинамическое устройство, приводящее к увеличению скорости жидкости в потоке. Но любое воздействие на жидкость приводит к изменению её свойств. Поэтому говорят о кавитационном пороге жидкости, который зависит не только от свойств невозмущенной жидкости, но и от способа её возмущения. Кавитация инициирует в жидкости различные физические

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

процессы, такие как направленная диффузия, коагуляция пузырьков и их дробление, излучение пузырьком акустических и ударных волн, излучение пузырьком света – сонолюминесценция и другие процессы [2-5]. Поэтому различают порог «выпрямленной диффузии», порог градиентной и Бьеркнесовской коагуляции, порог динамической устойчивости (порог «газовой кавитации»), порог статической устойчивости (порог «паровой» кавитации) и другие пороги. Все эти процессы зафиксированы и пороги измерены экспериментально. В настоящей работе проведены измерения величины порога акустической кавитации при потере динамической устойчивости пузырьков, пульсирующих под воздействием акустического поля (порог «газовой» кавитации) в экваториальной части Тихого океана. Критерии возникновения кавитации и методика измерения порога кавитации приведена в работах [6-8]. Многочисленные экспериментальные и теоретические работы [9] показывают, что величина кавитационных порогов зависит от концентрации и распределения по размерам и по пространству зародышей кавитации. В приповерхностном слое морской воды всегда присутствуют включения (неоднородности) различного происхождения и различной физической природы [10-12]. В морской воде присутствуют различные нерастворимые включения: твердые смачиваемые и несмачиваемые взвеси, пузырьки, включения биологического происхождения – зоопланктон и фитопланктон, рыбы и другие биологические виды, продукты распада биологических систем и прочее. Кроме того, присутствуют растворенные включения. Для нас наиболее важными из них являются растворенные газы. Концентрация растворенных газов влияет на процесс направленной диффузии при измерении величины акустических кавитационных порогов с помощью акустических концентраторов различной конструкции.

Величина кавитационной прочности жидкости определяется присутствием в ней зародышей кавитации, их концентрацией и распределением по размерам и по пространству. Следовательно, различные процессы в морской воде, которые влияют на этот параметр, так же влияют на величину кавитационной прочности морской воды.

Кратко опишем методику измерения кавитационных порогов морской воды в натуральных условиях. Научно-исследовательское судно перемещалось по заданному маршруту, согласно программе экспедиции. На каждой станции в дрейфе с борта судна опускалась измерительная установка, состоящая из акустического концентратора цилиндрической формы и контрольного гидрофона. Измерения кавитационных порогов морской воды проводились на частоте 10 кГц и глубинах от 2 м до 100 м. Кавитационная прочность жидкости является статистической величиной, распределенной по нормальному закону [6], поэтому в каждой точке измерений (на каждой станции), на каждой глубине проводилось не менее 10 измерений кавитационных порогов для проведения статистической обработки. При этом установлено, что коэффициент вариации величины порога акустической кавитации, как правило, не превышает 5%. Вертикальная качка судна приводит к тому, что объем воды внутри акустического концентратора полностью обновляется, поэтому результаты измерений можно считать полностью независимыми.

Систематические измерения величины кавитационных порогов морской воды по методике, приведенной в работе [8], проводились сотрудниками Сухумского филиала Акустического института АН СССР, а затем сотрудниками Тихоокеанского океанологического институт ДВО АН СССР с конца 1960 годов по 1989 год. Исследования включали изучение пространственной и временной изменчивости кавитационных порогов морской воды и выявление статистических взаимосвязей величины кавитационных порогов с физическими, химическими, гидрологическими и биологическими параметрами морской воды.

Исследования статистических взаимосвязей величины кавитационных порогов с различными параметрами морской воды показали, что существует принципиальное различие в пространственном распределении величины кавитационных порогов в Мировом океане. Существует два типа районов. Первый – это глобальные широтные

разрезы. Второй – это ограниченные районы сравнительно небольших масштабов. Таким образом пространственные изменения величины кавитационных порогов можно разделить на глобальную, мезомасштабную и мелкомасштабную изменчивость. Глобальная изменчивость величины кавитационных порогов обусловлена широтной изменчивостью основных параметров морской воды и обнаружена в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах [13, 14]. Исследования мезомасштабной и мелкомасштабной изменчивости величины кавитационных порогов морской воды проводилась в динамически активных зонах Мирового океана [8]. Эта изменчивость имеет сложный характер и обусловлена сложным пространственным распределением гидрологических, гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров морской воды.

Временная изменчивость величины кавитационных порогов морской воды в различных районах Мирового океана имеет сложный характер и связана с сезонными и суточными изменениями концентрации и распределения по размерам зародышей кавитации [15]. Суточная изменчивость величины кавитационных порогов связана с наличием общего суточного ритма гидрологических, гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик морской воды. Кроме того, существенное влияние на концентрацию и распределение по размерам зародышей кавитации в приповерхностном слое морской воды оказывают погодные условия. Одним из важнейших факторов, влияющих на многие процессы в приповерхностном слое океана, является карбонатная система морской воды. Состояние карбонатной системы влияет как на процессы неживой части океана (газообмен на границе морская вода атмосфера, образование и растворение карбонатов и т.д.), так и на процессах, связанных с живой материей. В первую очередь это процессы фотосинтеза, то есть выделение кислорода и поглощение углекислого газа, окисление органического вещества, то есть поглощение кислорода и выделение углекислого газа, растворение карбонатов и осаждение карбонатов. Таким образом, элементы карбонатной системы, одним из которых является щелочность Alk , мг-экв/л, являются индикаторами присутствия в воде планктона, углекислого газа и других элементов карбонатной системы. Хорошо известна суточная миграция планктона по глубине. В темное время суток планктон находится в верхнем слое воды, с рассветом планктон начинает мигрировать вглубь до глубин около ста метров.

Настоящая работа посвящена изучению изменчивости кавитационных порогов морской воды в «спокойном» в гидрологическом смысле районе Мирового океана. В 11 рейсе НИС «Академик Александр Виноградов» был сделан разрез по 150° в.д. от 4° ю.ш. до 4° с.ш. На рис.1., (вверху) приведены изолинии величины кавитационных порогов в относительных единицах, изолинии щелочности Alk , мг-экв/л (в центре) и кислотности pH (внизу). Изменчивость температуры и солености по пространству и во времени в этом районе крайне незначительна. Изменчивость же кавитационной прочности существенна и составляет на глубине 25 м около 100%. Кроме того, эта изменчивость по пространству носит явный периодический характер. Изменчивость щелочности также имеет периодический характер в районе от 4° ю.ш. до 2° с.ш., севернее величина щелочности уменьшается и имеет «изрезанный» характер по широте и глубине (рис.1., в центре). Характер изменчивости pH другой (рис. 1., снизу). Изменчивость этого параметра с глубиной есть не на всех широтах. Южнее экватора на широтах от 4° ю.ш. до 1.5° ю.ш. pH достаточно велика ($pH \sim 8.12$). Такая же величина pH севернее экватора от 2.2° с.ш. до 4° с.ш. В районе близкому к 0° , от 1.5° ю.ш. до 2.2° с.ш. величина pH меняется от 8.03 до 8.09 и имеет изменчивость по глубине в районе 0° от 8.05 до 8.10. Отметим, что характерной для динамически активных районах (фронты и проч.) инверсии величин кавитационных порогов с глубиной, когда величина кавитационных порогов на меньших глубинах выше чем на больших глубинах, отсутствует.

Такое распределение величин кавитационных порогов, щелочности и кислотности наводит на мысль о существенном влиянии на их величину временного фактора (времени суток).

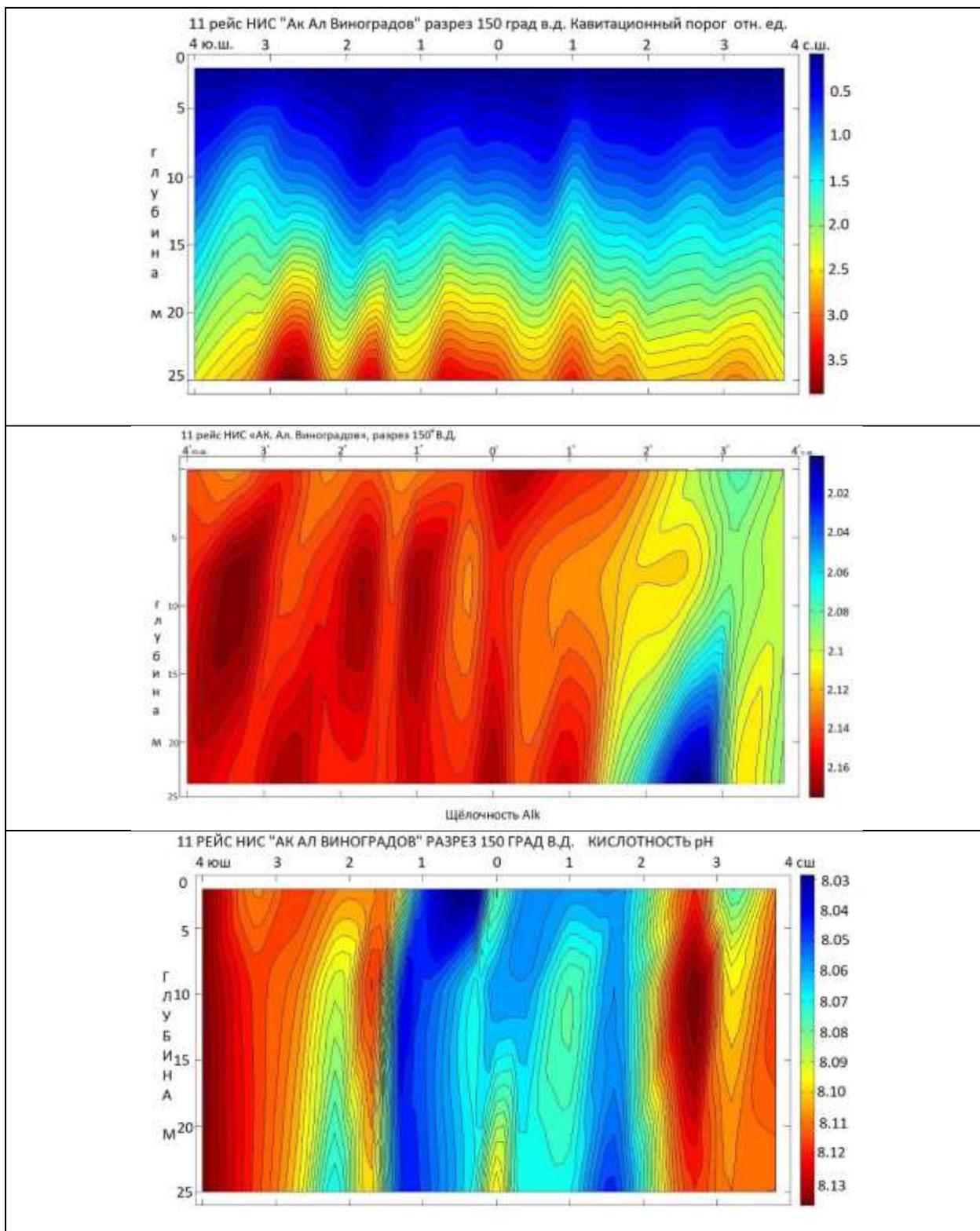


Рис.1. Пространственная изменчивость: кавитационных порогов, относительная величина, (вверху);щелочности мг-экв/л, (в центре); кислотности pH, (внизу).

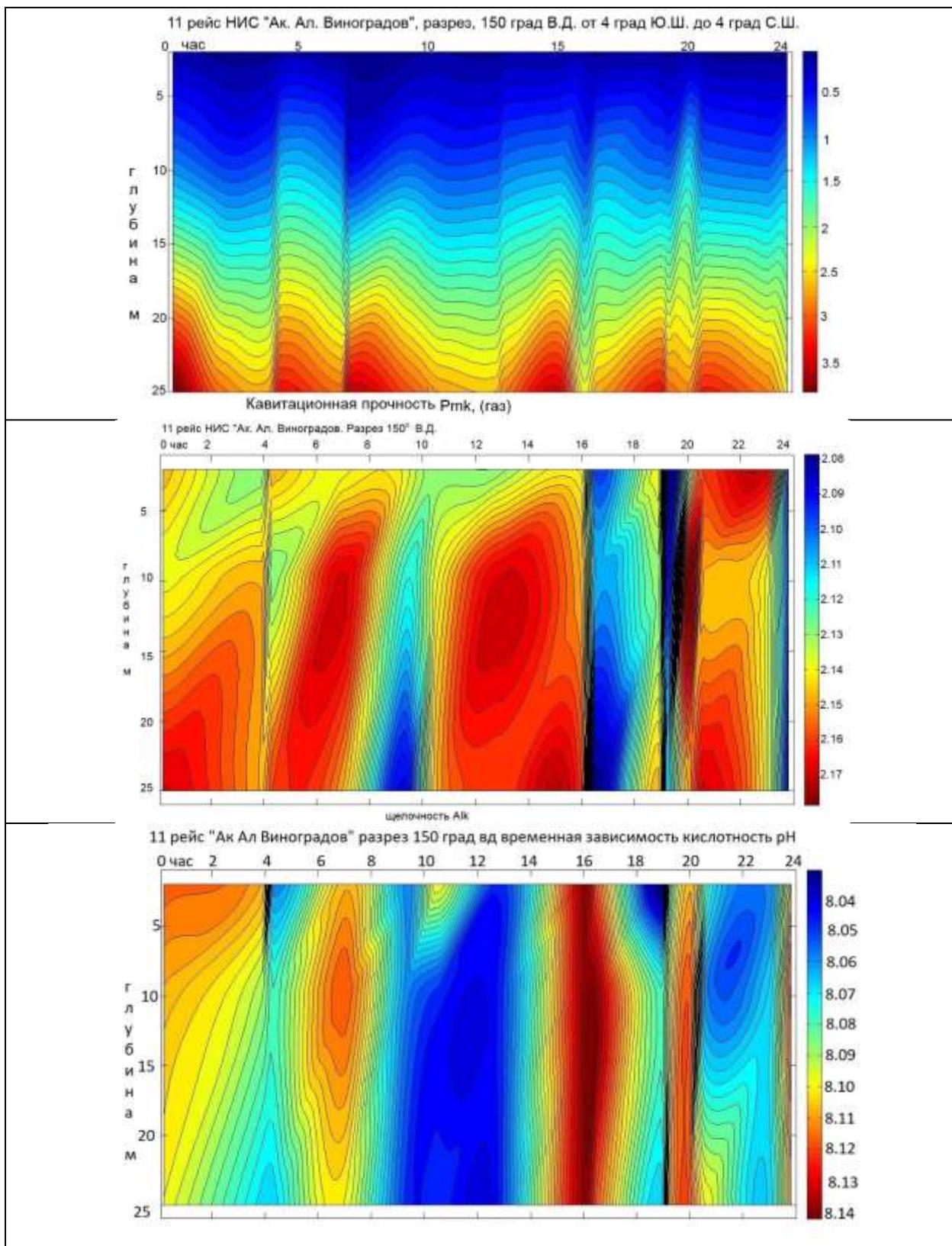


Рис.2. Временная изменчивость: кавитационных порогов, относительная величина, (вверху); щелочности, мг-экв/л, (в центре); кислотности pH, (внизу).

ряды величины кавитационных порогов, щелочности и кислотности в пределах от 00 часов до 24 часов. Изолинии этих величин приведены на рис. 2. Величина кавитационных порогов на глубинах от 2 м до 10 м не меняется со временем. Начиная с глубины около 15 м появляется изменчивость, имеющая периодический характер с периодом приблизительно равным пяти часам. Начиная с 18 часов эта периодичность искажается, становится более сложной. Изменчивость щелочности проявляется на всех глубинах в течении всего временного периода (24 часов). Эта изменчивость также носит периодический характер с периодом близким к пяти часам. В районе 10 часов проявляется яркая глубинная зависимость щелочности с минимальной величиной около 2.08 мг-экв/л. С 16 до 20 часов щелочность имеет минимальное значение на всех глубинах. Изменчивость кислотности рН с глубиной слабая. С 11 до 13 часов и с 21 до 23 часов кислотность минимальна. Временная изменчивость рН существенна, рН меняется от 8.04 до 8.14 в течении суток с периодом около 5 часов.

Анализ экспериментальных данных показал, что ярко выраженная связь величины кавитационных порогов с изменчивостью щелочности и кислотности отсутствует.

Список литературы:

1. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей // М.: ГИТТЛ. 1951. 109 с.
2. Eller A., Flinn H.G. Rectified Diffusion during Nonlinear Pulsating of Cavitation Bubbles. // J. Acoust. Soc. America 1965, V. 37, №3 P. 493-497.
3. Кузнецов Г.Н., Щекин Е.И. Взаимодействие пульсирующих пузырьков в вязкой жидкости. // Акустический журнал, 1972, Т. 18, №4, С. 565 – 570.
4. Prosperetti A. Bubbles. // Phys. Fluids, 2004, V. 16 P. 1852 -1865.
5. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974, 699 с.
6. Гуленко И.И., Корец В.Л., Мальков В.В. Некоторые вопросы методики измерения кавитационных порогов. // В кн.: Симпозиум по физике акусто-гидродинамических явлений. Сухуми, 1975, С. 35 – 39.
7. Pyichev V.I., Koretz V.L. and Melnikov N.P Spectral characteristics of acoustic cavitation // Ultrasonics. 1989. Vol. 27. P. 357-361.
8. Мельников Н.П., Елистратов В.П. Мезомасштабная пространственная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Акустический журнал, 2017, т. 63, №2, с.187 – 195.
9. Перник А.Д. Проблемы кавитации. Судостроение. Л., 1966.
10. Буланов В.А. Введение в акустическую спектроскопию микронеоднородных жидкостей // Владивосток: Дальнаука, 2001, 278 с.
11. Akulich V.A., Bulanov V.A. Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. America V.130. No 5, Pt. 2, November 2011, P. 3438-3449.
12. Акуличев В.А., Буланов В.А. Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. Владивосток, 2017. Ильичев В.И., Елистратов В.П., Корец В.Л., Мельников Н.П. Широкая изменчивость кавитационной прочности морской воды // Доклады РАН, 1992, Т. 324, № 5, С. 1108-1110.
13. Ильичев В.И., Елистратов В.П., Корец В.Л., Мельников Н.П. Широкая изменчивость кавитационной прочности морской воды // Доклады РАН, 1992, Т. 324, № 5, С. 1108-1110.
14. Акуличев В.А., Ильичев В.И. Пороги акустической кавитации в морской воде в различных районах Мирового океана. // Акустический журнал, 2005, Т. 51, № 2, С.167-179.
15. Мельников Н.П., Елистратов В.П. Временная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Ученые записки физического факультета Московского университета, 2014, № 6, 146340 (1-7).

SMALL-SCALE AND TEMPORARY VARIABILITY OF SEA WATER CAVITATION THRESHOLDS IN THE EQUATORIAL REGION OF PACIFIC OCEAN

Nikolay P. Melnikov, Anna N. Melnikova

The paper studies the spatial and temporal variability of cavitation thresholds, alkalinity and pH of seawater at small spatial scales in the equatorial region of Pacific ocean. Periodic variability of cavitation thresholds, alkalinity and acidity on small spatial scales, as well as periodic variability of these parameters during the day, was found.

Keywords: cavitation strength of liquid, cavitation threshold of seawater