Н.П. Мельников, А.Н. Мельникова

МЕЛКОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

*Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а,
Тел.: 8(920)077-43-52, E-mail: melnikov50@mail.ru*

В работе приводятся результаты измерений величины кавитационных порогов и щелочности морской воды на разрезе по 150°в.д. через экватор от 4°ю.ш. до 4°с.ш. Обнаружена значительная периодическая пространственная изменчивость с периодом около 1°. Ярко выраженная связь величины кавитационных порогов морской воды с временем суток отсутствует.

Ключевые слова: кавитационная прочность, кавитационный порог морской воды

Понижение давления в потоке жидкости приводит к возникновению явления, называемого гидродинамической кавитацией. Акустическая волна достаточной амплитуды порождает акустическую кавитацию. Это различие достаточно условное, так как физические процессы в жидкости при наличии как гидродинамической, так и акустической кавитации, имеют одну природу. При возникновении кавитации в жидкости появляются каверны и пузырьки, то есть возникают разрывы сплошности среды. Движение этих каверн и пузырьков в переменных полях давления порождает все физические процессы, присущие кавитации. Эти разрывы возникают при давлениях намного больших, чем при давлениях, обеспечивающих молекулярный разрыв жидкости. Такой физический процесс возможен только при наличии в жидкости некоторых «слабых мест», обычно называемых зародышами кавитации. Таким образом, невозмущенная жидкость имеет некую прочность на разрыв, называемую кавитационной прочностью жидкости. Но любое воздействие на жидкость приводит к изменению ее физических, химических и других свойств. Поэтому говорят о кавитационном пороге жидкости, который зависит не только от свойств невозмущенной жидкости, но и от способа

ее возмущения. Возникновение кавитации приводит к инициированию в жидкости различных физических процессов. Поэтому различают порог «выпрямленной диффузии», порог градиентной и бьеркнесовской коагуляции, порог динамической устойчивости (порог «газовой кавитации»), порог статической устойчивости (порог «паровой» кавитации). Появление каждого процесса может быть зафиксировано экспериментальными методами. В нашей работе мы исследуем величину порога акустической кавитации при потере динамической устойчивости пузырьков, пульсирующих под воздействием акустического поля (порог «газовой» кавитации). Критерии возникновения кавитации и методика измерения порога кавитации описана в работах [1–3]. Многочисленные экспериментальные и теоретические работы, обзор которых приведен в [4], показывают, что величина кавитационных порогов зависит от концентрации и распределения по размерам зародышей кавитации. Обзор экспериментальных данных о неоднородностях различной физической природы, присутствующих в морской воде, приведены в работе [5]. В морской воде присутствуют различные включения: твердые смачиваемые и несмачиваемые взвеси, пузырьки, включения биологического происхождения – зоопланктон и фитопланктон, рыбы и другие биологические виды, продукты распада биологических систем и прочее.

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

Измерения кавитационных порогов морской воды в натурных условиях проводятся следующим образом. Согласно программе экспедиции, научно-исследовательское судно двигалось по заданному маршруту. На 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 различных частотах (5, 10 и 15 кГц) и глубинах (от 2 м до 100 м). Кавитационная прочность жидкости является статистической величиной, которая распределена по нормальному закону, 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%. Из-за вертикальной качки судна объем воды внутри

акустического концентратора полностью обновлялся, поэтому результаты измерений можно считать полностью независимыми.

Систематические измерения кавитационных порогов морской воды по методике, приведенной в работе [3], проводились сотрудниками Сухумского филиала Акустического института АН СССР, а затем и сотрудниками Тихоокеанского океанологического институт ДВО ОН 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.

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 [6]. Исследования мезомасштабной и мелкомасштабной изменчивости величины кавитационных порогов морской воды проводились в динамически активных зонах Мирового океана [3, 7]. 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. 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 процессы, связанные 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 и углекислого газа. Хорошо известна суточная миграция планктона по глубине. В темное время суток планктон находится в верхнем слое воды, с рассветом планктон начинает мигрировать вглубь, на расстояние 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 приведены изолинии величины кавитационных порогов в относительных единицах и изолинии щелочности Alk, мг-экв/л. Изменчивость температуры и солёности 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 носит явный периодический по пространству 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, слева). Такое распределение величин кавитационных порогов и щелочности наводит на мысль о существенном влиянии на их величину временного фактора (времени суток).

Чтобы выяснить существование такой зависимости, были построены временные ряды величины кавитационных порогов и щелочности

Рис. 1. Временные ряды величины кавитационной прочности и изменчивость щелочности.

в пределах от 00 часов до 24 часов. Эти зависимости приведены на рис. 1 справа. Изменчивость величины кавитационных порогов на разных глубинах имеет разный характер, но остается периодичной, с периодом приблизительно равным пяти часам. То же самое можно сказать об изменчивости щелочности. Ярко выраженной суточной зависимости этих параметров морской воды не наблюдается.

Литература

1. 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.
2. Puychev V.I., Koretz V.L., Melnikov N.P. Spectral characteristics of acoustic cavitation // Ultrasonics. 1989. Vol. 27. P. 357–361.
3. Мельников Н.П., Елистратов В.П. Мезомасштабная пространственная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Акустический журнал. 2017. Т. 63. № 2. С. 187–195.
4. Перник А.Д. Проблемы кавитации. Л.: Судостроение, 1966. 1966.
5. Акуличев В.А., Буланов В.А. Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. Владивосток, 2017.
6. Ильичев В.И., Елистратов В.П., Корец В.Л., Мельников Н.П. Широтная изменчивость кавитационной прочности морской воды // Доклады РАН. 1992. Т. 324. № 5. С. 1108–1110.
7. Мельников Н.П., Елистратов В.П. Временная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2014. № 6. 146340 (1–7).

N.P. Melnikov, A.N. Melnikov

SMALL-SCALE VARIABILITY OF CAVITATION STRENGTH SEAWATER IN THE EQUATORIAL PART OF PACIFIC OCEAN

*Radiophysical Research Institute
National Research Lobachevsky State University
of Nizhny Novgorod (NIRFI UNN), Russia, 603950, Nizhny Novgorod,
ul. Bolshaya Pecherskaya, 25/12a,
Tel.: 8(920)077-43-52, E-mail: melnikov50@mail.ru*

The spatial variability of the cavitation strength of seawater and, accordingly, the value of cavitation thresholds can be divided into global, mesoscale and small-scale variability. The value of the cavitation threshold of any liquid is determined by the method of its measurement, as well as the concentration of “cavitation nuclear” of various nature, their distribution by size and space. Therefore, the variability of sea water cavitation thresholds at different spatial scales is also determined by the presence of “cavitation nuclear” in the water. The presence of small bubbles in the surface layer of sea water is influenced

by many factors: surface waves, the concentration of dissolved gases, the concentration of hydrophobic suspensions, the presence of plankton and its life activity, cosmic radiation and the concentration of radioactive elements, the presence of impurities that affect on the surface tension coefficient and water viscosity, and so on. It can be assumed that the small-scale variability of cavitation thresholds of seawater, especially in a “quiet” areas in the hydrological sense, is mainly associated with the presence and activity of plankton.

The paper presents the results of measurements of the value of cavitation thresholds and alkalinity of sea water in the section 150°E across the equator from 4°S to 4°N. A significant periodic spatial variability with a period of about 1° is found. There is no pronounced relationship between the value of sea water cavitation thresholds and the time of day.

Keywords: cavitation strength, cavitation strength of seawater

References

1. Gulenko I.I., Korets V.L., and Malkov V.V. Some questions of the method of measuring cavitation thresholds. In the book.: Symposium on the physics of acoustic-hydrodynamic phenomena, Sukhumi, 1975, pp. 35–39.
2. Ilyichev V.I., Koretz V.L., and Melnikov N.P. Spectral characteristics of acoustic cavitation. *Ultrasonics*, 1989, Vol. 27, pp. 357–361.
3. Melnikov N.P. and Elistratov V.P. Mesoscale Spatial Variability in Seawater Cavitation Thresholds. *Acoustical Physics*, 2017, Vol. 63, No. 2, pp. 196–203.
4. Pernik D. Problems of cavitation. Leningrad: Shipbuilding, 1966.
5. Akulichev V.A. and Bulanov V.A. Acoustic studies of small-scale inhomogeneities in sea water. Vladivostok: POI FEB RAS, 2017, 411 p.
6. Ilichev V.I., Elistratov V.P., Korets V.L., and Melnikov N.P. Latitudinal variability of cavitation strength of sea water. *Doklady of RAS*, 1992, Vol. 324, No. 5, pp. 1108–1110.
7. Melnikov N.P. and Elistratov V.P. Time variability of cavitation thresholds of sea water. *Scientific notes of the faculty of physics of the Moscow University*, 2014, No. 6, 146340 (1–7).