

Исследование взаимосвязи кавитационной прочности с различными параметрами морской воды

В. П. Елистратов¹, Г. Н. Кузнецов^{2,*}, Н. П. Мельников^{3†}

¹Институт экологии АНА. Абхазия, 384900, Сухум, ул. Красномаяцкая, д. 67

²Научный центр волновых исследований Института общей физики имени А. М. Прохорова РАН
Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38

³Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ имени Н. И. Лобачевского
Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, д. 25/12а
(Статья поступила 26.07.2017; Подписана в печать 19.09.2017)

Исследованы физические зависимости и корреляционной связи порогов возникновения кавитации (ПВК), измеренных в различных районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов, с гидрологическими, гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками морской воды. Подтверждено существование широтного эффекта (ШЭ) и установлена повышенная статистическая связь ПВК с общим газо- и кислородосодержанием, температурой и щелочностью. Показано влияние на ПВК зон дивергенции и конвергенции, а также морских течений.

PACS: 43.25.Yw

УДК: 534.222

Ключевые слова: пороги возникновения кавитации, кавитационная прочность, физические и химические характеристики морской воды, дивергенция, конвергенция.

ВВЕДЕНИЕ

Первые измерения порогов возникновения акустической кавитации в морской воде в различных районах Атлантического океана выполнены академиком В. А. Акуличевым. Анализ полученных экспериментальных данных позволил академикам В. И. Ильичеву и В. А. Акуличеву сделать важный с точки зрения физики и решения практических задач вывод о существовании «широтного эффекта» кавитационной прочности воды (КПВ) [1]. Позднее систематические исследования КПВ в различных районах Мирового океана (МО), выполненные сотрудниками Сухумского филиала Акустического института в период с 1970 по 1974 гг. и в более поздние годы сотрудниками ТОИ ДВО АН СССР, подтвердили существование ШЭ, но был установлен ряд дополнительных закономерностей. Исследования выполнены в Северном Ледовитом, Атлантическом, Тихом, Индийском океанах, в морях, примыкающих к берегам Антарктиды, а также различных внутренних морских регионах (Черное, Средиземное, Южно-Китайское и Японское моря). Причем в различных районах МО одновременно измерялись ПВК в водном объеме внутри акустического концентратора цилиндрической формы, и критические режимы возникновения гидродинамической кавитации [2]. Все измерения ПВК в различных районах МО производились по единой методике и с использованием идентичных технических средств. В качестве критерия возникновения кавитации использовано появление специфического кавитационного шума заданной интенсивности. Для получения пространственных характеристик ис-

следовательское судно по заданной программе переходило из одной точки в другую, двигаясь, если это было возможно, вдоль меридианов. После остановки с борта судна опускалась измерительная установка, включающая акустический концентратор и контрольный гидрофон. Измерения производились на различных частотах (5, 10 и 16 кГц) и глубинах — в основном, до 40–60 м. В отдельных районах выполнялись измерения на глубинах до 100 м. Средние величины ПВК вычислялись по 10-ти независимым отсчетам, которые производились через 1.5–2 мин. За время «паузы» из-за вертикальной качки судна объем воды внутри цилиндрического концентратора полностью обновлялся, что позволяет считать результаты измерений статистически независимыми.

На основании выполненных исследований были сделаны следующие выводы [2].

1. Подтвержден ШЭ — в среднем в экваториальной зоне МО величина ПВК (и соответственно, КПВ) заметно превышает значения ПВК, измеренные на высоких широтах (в Северном Ледовитом океане или вблизи берегов Антарктиды). Наиболее вероятная причина — высокая температура воды в экваториальной зоне и, как следствие, уменьшение газосодержания (дисперсной фазы) и количества планктона [3].
2. В зоне умеренных широт наблюдается значительная изменчивость ПВК, связанная с сезонными изменениями характеристик морской воды (шторма, изменение температуры и газосодержания воды, количество и характер миграции планктона).
3. Проявляется влияние дисперсной фазы, образованной в поверхностной продуцирующей зоне при сильных штормах — до 30–35 м из-за обрушивания гребней крутых волн и горизонтального

*E-mail: skbmortex@mail.ru

†E-mail: melnikov50@mail.ru

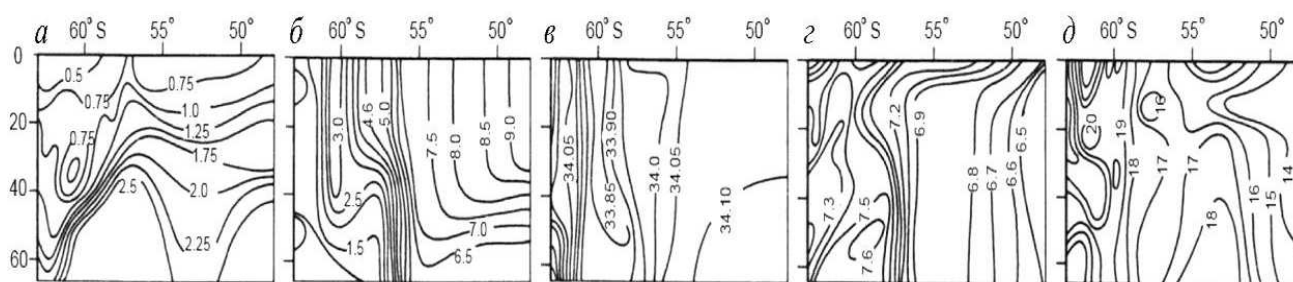


Рис. 1: Пролив Дрейка. Изолинии: а — ПВК, относительная величина; б — T , °C; в — S , ‰; г — концентрация кислорода O_2 , мл/л; д — общее газосодержание V , мл/л. По оси X отложены координаты точек измерения, по оси Y — глубина, м

и вертикального дрейфа дисперсной фазы, а также миграции планктона. Этот фактор также существенно зависит от времени года.

4. В зонах дивергенции морских вод «обжатые» повышенным статическим давлением глубоководные слои поднимаются к поверхностным слоям, и ПВК на малых глубинах заметно возрастает. В зонах конвергенции насыщенные дисперсной фазой поверхностные воды заглубляются, и ПВК уменьшаются даже на больших глубинах.
5. Проявляется влияние прибрежных течений, особенно вблизи устья рек из-за выхода пресных вод, обогащенных воздухом и дисперсной фазой. Реки выносят в океан большое количество зародышей кавитации — микропузырьков, твердых взвесей и микроскопических фракций суспензии, а также микроорганизмов. В результате ПВК в этих зонах заметно уменьшаются. Причем перечисленные зародыши кавитации переносятся прибрежными течениями на многие десятки (до сотен) километров. Как следствие, в целом районе кавитационная прочность морской воды понижается.
6. Обнаружены суточные изменения ПВК, связанные с солнечной радиацией и интенсивностью космического излучения [4] или с суточной миграцией планктона [3].

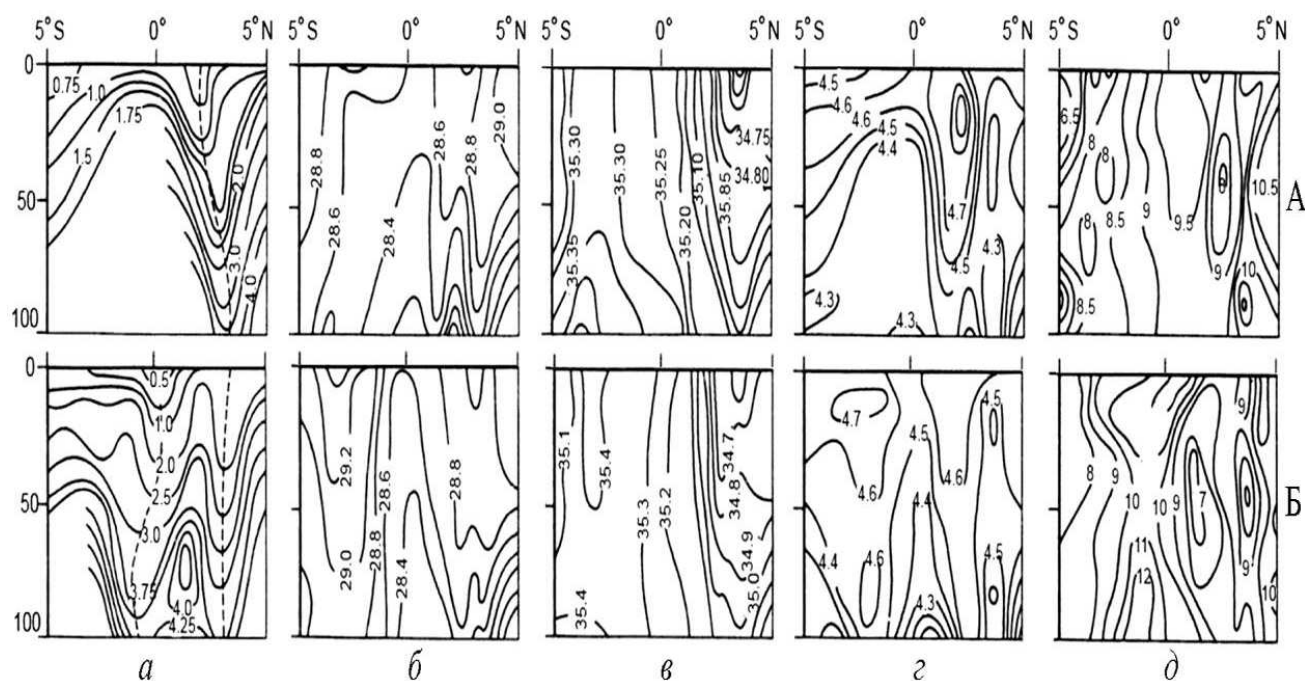
Таким образом, на усредненную (укрупненную) зависимость ПВК от широты (вдоль выбранного меридиана) накладываются статистически значимые локальные изменения ПВК, связанные, в том числе — с меандрированием подводных течений, образованием фронтальных зон и зон с дивергенцией и конвергенцией морской воды, близостью берегов, устьев рек и т.д. Как следствие, даже на одной широте наблюдается большая изменчивость величины ПВК, что заметно увеличивает дисперсию оценок, расширяет доверительный интервал полученных значений ПВК и затрудняет интерпретацию и физический анализ измеренных характеристик.

Некоторые результаты исследований представлены в публикациях [5, 6].

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПВК В ЗОНЕ ПРОЛИВА ДРЕЙКА И В ТИХОМ ОКЕАНЕ

Пространственная изменчивость ПВК. Проанализируем более детально некоторые результаты натурных измерений ПВК на примере данных, полученных в проливе Дрейка и в экваториальной (центральной) зоне Тихого океана. На рис. 1,а представлены измеренные при пересечении пролива Дрейка на различных глубинах и широтах зависимости ПВК (в относительных единицах), а также разрезы температуры и солёности воды, концентрации кислорода и общего газосодержания (рис. 1,б–д). Видно, что в летний период (февраль) фронтальная зона, лежащая на широте $58^{\circ}S$, разделяет холодные антарктические воды и относительно более теплые субантарктические воды. Видно также, что непосредственно в зоне фронта наблюдается ярко выраженная зона дивергенции — подъема обжатых статическим давлением холодных антарктических вод, и, как следствие, увеличение ПВК даже на малых глубинах. Слева и справа от этой зоны происходит опускание насыщенной дисперсной фазой морской воды, и значения ПВК имеют малые величины. Отметим, что наличие вертикальных течений в зонах подъема и опускания вод подтверждается однородностью химического состава и физических характеристик воды на различных глубинах (см. рис. 1, б–д). Уменьшение ПВК в зоне антарктических вод можно также объяснить повышенным газосодержанием и большим количеством планктона.

На рис. 2 представлены аналогичные зависимости, полученные при пересечении удаленного от берегов экваториального района Тихого океана — соответственно с юга на север (А) и с севера на юг (Б). Район измерений характеризуется сложной динамической картиной поверхностных течений и противотечений с зонами подъема и опускания вод, из-за чего в слое 5–50 м в течение четырех суток произошло смещение зоны минимума ПВК, находившегося ранее на широте $2^{\circ}30'N$ к широте $3^{\circ}30'N$. Горизонтальное расстояние между галсами менее 30 км, интервал времени — менее пяти дней. Видно, что в зоне конвергенции (2 – $4^{\circ}N$), несмотря на меандрирование течений, наблюдаются устойчивые физико-химические характеристики морской воды



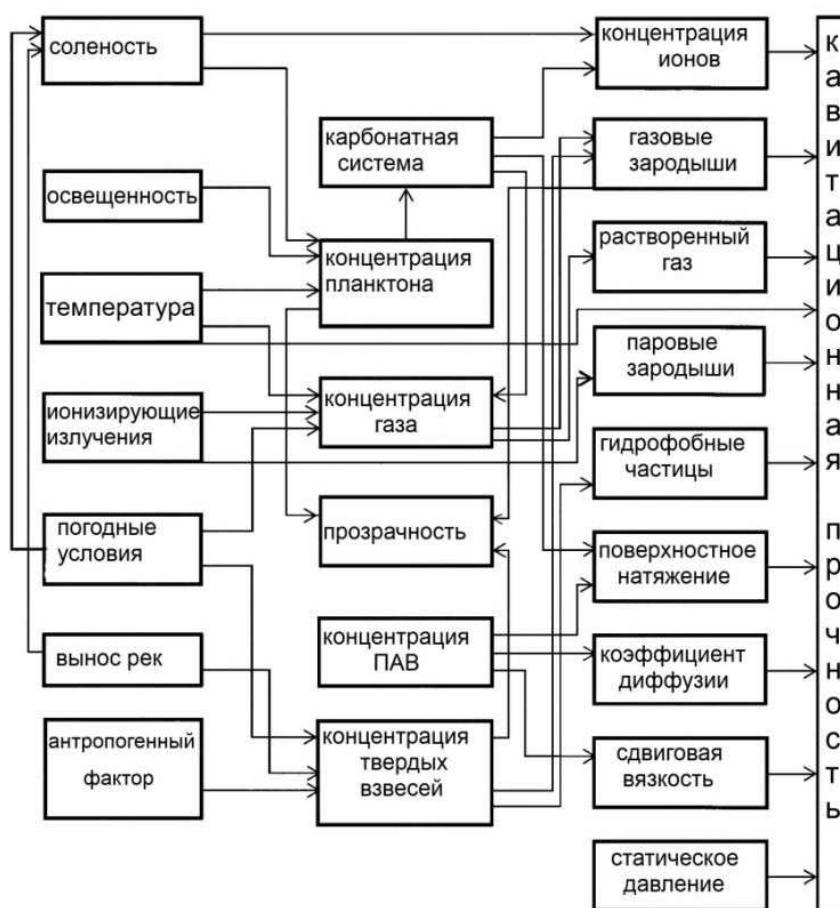


Рис. 3: Взаимосвязь физико-химических параметров среды, влияющих на величину ПВК морской воды. Стрелки указывают на связь одного параметра с другим

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Величина ПВК определяется стабилизацией и постоянным присутствием в жидкости зародышей кавитации в виде газовых пузырьков и твердых частиц. Под воздействием поля ЗД микророзродыши увеличивают размер и превращаются в нестационарные кавитационные полости. На пространственное распределение и скорость роста зародышей и, соответственно, вариацию ПВК, оказывают влияние физические и химические свойства морской воды, которые зависят от районирования гидрологии и характеристик вод-

ных масс, сезонных изменений, течений, зон дивергенции и конвергенции. Но проявляется глобальное (широтное) распределение ПВК, для которого характерны устойчивые корреляционные связи с газосодержанием и температурой. На это распределение налагаются значительные локальные изменения ПВК, связанные с вариацией свойств морской воды. Идентификация водных масс по величине ПВК хорошо согласуется с традиционным районированием и разделением водных масс по их гидрологическим, физическим и химическим характеристикам.

- [1] Акуличев В.А., Ильичев В.И. Акуст. журн. 2005. **51**, № 2. С. 167
- [2] Кузнецов Г.Н. Сводный отчет по НИР «З-72». Сухуми: СФ АКИН, 1973.
- [3] Планктон Тихого океана / под ред. Г.И. Семина. М.: Наука, 1968.
- [4] Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Океан

- и космос. Л.: Гидромет, 1970.
- [5] Ильичев В.И., Елистратов В.П., Корец В.Л., Кузнецов Г.Н., Мельников Н.П. ДАН СССР. 1990. **312**, № 4. С. 974.
- [6] Мельников Н.П., Елистратов В.П. Акуст. журн. 2017. **63**, № 2. С. 187.

Study of the interrelationship of the cavitation strength with a variety of sea water parameters

V. P. Elistratov¹, G. N. Kuznetsov^{2,a}, N. P. Mel'nikov^{3,b}

¹*Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia. Sukhum 384900, Abkhazia*

²*Wave Research Center at General Physics Institute. Moscow 119991, Russia*

³*Scientific Research Radiophysical Institute, Nizhny Novgorod State University. Nizhny Novgorod 603950, Russia*

E-mail: ^askbmortex@mail.ru, ^bmelnikov50@mail.ru

Study of the physical dependence and correlation thresholds of cavitation (CTC) measured in various parts of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans, with the hydrological, hydro-physical and hydro-chemical characteristics of seawater. Confirmed of the existence of the latitudinal effect (LE) and established increased statistical relationship CTC with the general gas and oxygen content, temperature, and alkalinity. The shown the influence of PVC on areas of divergence and convergence, as well as sea currents.

PACS: 43.25.Yw

Keywords: thresholds of cavitation, cavitation strength, the physical and chemical characteristics of seawater, divergence, convergence.

Received 26 July 2017.

Сведения об авторах

1. Елистратов Валерий Петрович — ст. науч. сотрудник.
2. Кузнецов Геннадий Николаевич — канд. физ.-мат. наук, начальник СКБ «Морские технологии», профессор; тел.: (499) 256-17-90, e-mail: skbmortex@mail.ru.
3. Мельников Николай Павлович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: melnikov50@mail.ru.