



УДК 532.528

Н.П. Мельников, к.ф.-м.н. НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского
603950, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а

Б.И. Резников, к.ф.-м.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ И ДРУГИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ ВОДЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МЕЗОМАСШТАБНОГО ВИХРЯ СУБАРКТИЧЕСКОГО ФРОНТА ТИХОГО ОКЕАНА

Ключевые слова: кавитационная прочность морской воды, кавитационный порог.

Приводятся результаты измерений величины кавитационной прочности, гидрологические характеристики и некоторые элементы карбонатной системы морской воды в приповерхностном слое мезомасштабного вихря в субарктическом фронте Тихого океана. Показано, что распределение элементов карбонатной системы более полно показывают структуру водных масс, чем традиционные гидрологические параметры.

Под объемной прочностью жидкости обычно понимают то максимальное напряжение, приложенное к ней, при котором жидкость терпит разрыв. Согласно молекулярно-кинетической теории вода распадается на молекулы при достижении величины напряжения равной 3250 кг/см^2 [1]. Однако все эксперименты показывают, что величина этого напряжения на 2-3 порядка меньше. Максимальное значение этой величины получил Бриггс [2] – от 260 атм. до 270 атм., благодаря особо тщательной очистке воды. Результаты многочисленных экспериментов с неочищенной водой и с другими жидкостями показали, что разброс экспериментальных значений получается очень большой. Этот факт позволяет предположить, что в жидкости существуют некие области пониженной прочности, некие слабые места, которые в настоящий момент называются «зародыши кавитации». Экспериментальные исследования влияния очистки жидкости на величину её кавитационной прочности позволяет предположить, что появление зародышей кавитации связано с присутствием в жидкости различных примесей [3]. Смешивающиеся и твердые растворимые примеси несущественно влияют на величину кавитационной прочности. Для несмешивающихся и нерастворимых примесей существенным фактором является смачиваемость. Если смачиваемость мала (гидрофобные поверхности), в зоне контакта образуется зародыш кавитации. Другим типом примесей является растворенный в жидкости газ, а также устойчивые включения нерастворенного газа и неконденсированного пара. Очевидно, что наличие примесей в жидкости, их свойства, концентрация влияют на функцию распределения по размерам зародышей кавитации и их концентрацию, что, в свою очередь, приводит к изменению величины кавитационной прочности жидкости. Интересно, что присутствие в воде ионов, вызывающих отрицательную гидратацию приводит к уменьшению кавитационной прочности, а ионы, вызывающие положительную гидратацию, величину кавитационной прочности не изменяют. Эффекты изменения кавитационной прочности заметны для газосодержания меньше 45%. При большем газосодержании влияние присутствия ионов

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

на величину кавитационной прочности не обнаружено [4]. На величину кавитационной прочности влияет не только наличие в жидкости зародышей кавитации, но и свойства жидкости, которые влияют на динамику кавитационных зародышей (мельчайших пузырьков) в переменных полях давления. В первую очередь это вязкость жидкости и коэффициент поверхностного натяжения. Эксперименты [5] показали, что увеличение температуры жидкости приводит к уменьшению величины кавитационной прочности и к изменению функции распределения зародышей кавитации по размерам - число зародышей большего размера возрастает. Изменение температуры также влияет на величину давления насыщенного пара, коэффициент поверхностного напряжения, давление газа внутри пузырька, и на угол смачивания твердых примесей. Механизмом генерации зародышей кавитации являются ионизирующие излучения [6]. Наличие в воде ионизирующих излучений приводит к уменьшению величины кавитационной прочности. Одним из таких излучений является космическое излучение. Для морской воды примерно 70% общего количества частиц, достигающих поверхности воды, являются μ - мезоны (жесткая компонента) и около 30% - электроны (мягкая компонента). Кроме того в морской воде присутствует радиоактивный изотоп ^{40}K , β распад которого порождает электрон с энергией порядка 1.31 Мэв.

По характеру действующих на жидкость сил кавитацию условно подразделяют на гидродинамическую и акустическую. Акустическая кавитация возникает при возбуждении в жидкости достаточно интенсивных акустических полей. Гидродинамическая кавитация возникает при уменьшении давления в жидкости в гидродинамических полях обтекаемых тел. Основное отличие акустической кавитации от гидродинамической состоит в том, что в первом случае объем жидкости подвергается периодическому воздействию переменного давления в течение длительного интервала времени. Однако, процессы, протекающие при гидродинамической и акустической кавитации, обусловлены одними и теми же физическими законами. В связи с этим в некоторых случаях акустическая кавитация может служить для моделирования явлений гидродинамической кавитации.

Основным фактором, определяющим величину кавитационных порогов (КП) является присутствие в жидкости зародышей кавитации в виде парогазовых пузырьков и твердых частиц. Возникновение кавитации состоит в развитии этих зародышей и превращение их в кавитационные полости (каверны, пузырьки) в переменных полях давления. Другим фактором являются процессы, определяющие динамику превращения зародышей кавитации в кавитационные полости. Физические свойства жидкости, а также различные внешние условия, с одной стороны, определяют типы зародышей, а с другой – влияют на динамику их развития. При этом некоторые параметры жидкости могут влиять одновременно на оба фактора.

Исходя из такого подхода к проблеме величины КП морской воды, были проведены экспериментальные исследования её пространственной и временной изменчивости в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах и выявлены статистические связи с различными гидрофизическими, гидрохимическими и гидробиологическими параметрами.

Описание экспериментальной установки для измерения величины акустических КП морской воды в натуральных условиях, а также обоснование критерия возникновения кавитации изложены в работе [7].

Методика измерения величины КП следующая: в дрейфе на станциях на глубинах от 5 м до 100 м делалось 10 измерений величины КП, эти измерения усреднялись, и усредненное значение принималось за кавитационный порог. Частота возбуждения акустического концентратора равнялась 5, 10 и 15 кГц. В данной работе приводятся экспериментальные данные, полученные на излучателе с частотой возбуждения 15 кГц. Отметим, что условия выполнения натуральных измерений кавитационной прочности

морской воды были таковы, что одиночные измерения можно считать статистически независимыми.

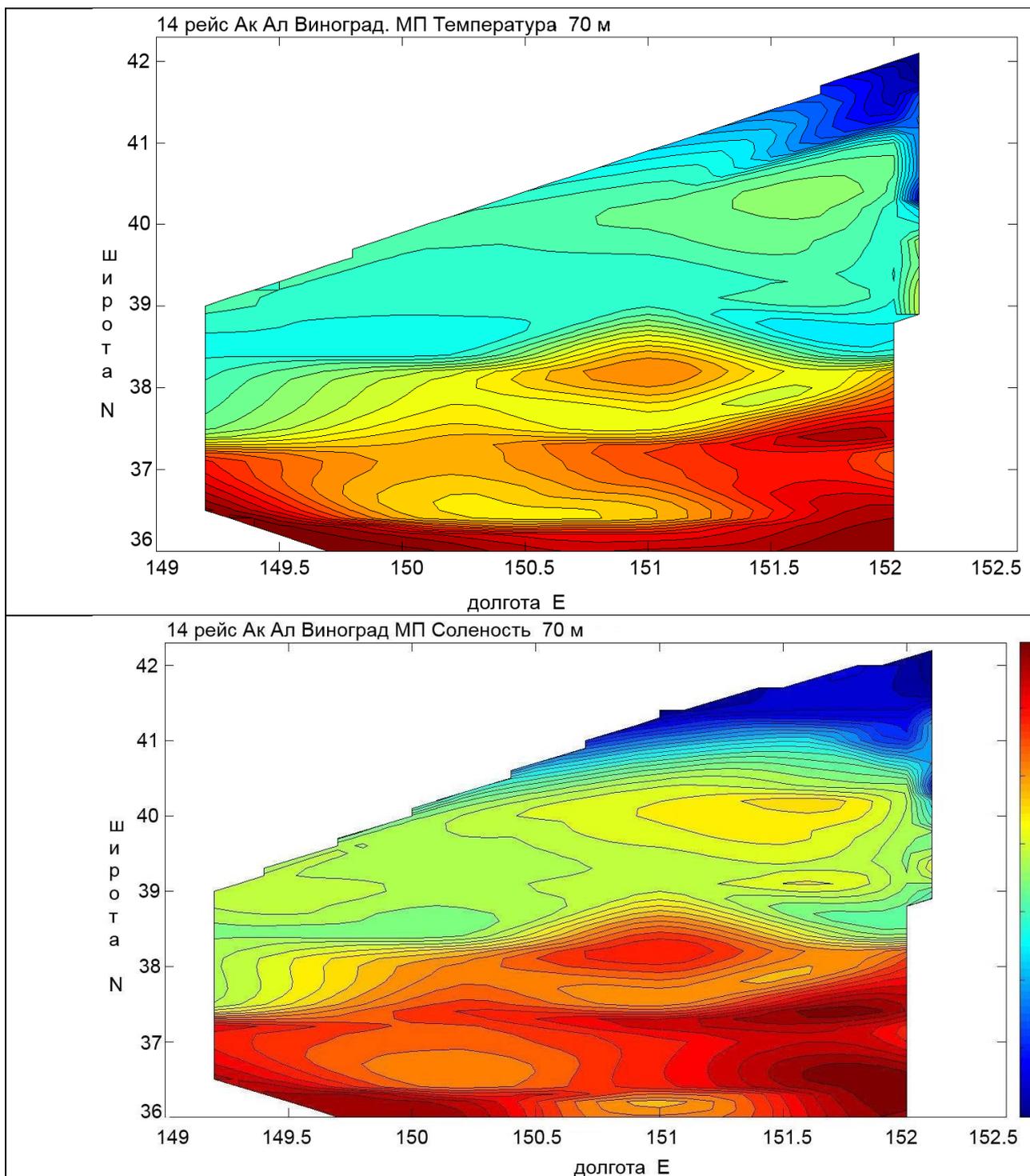


Рис.1. Изолинии температуры (вверху) и солености (внизу) на глубине 70 м.

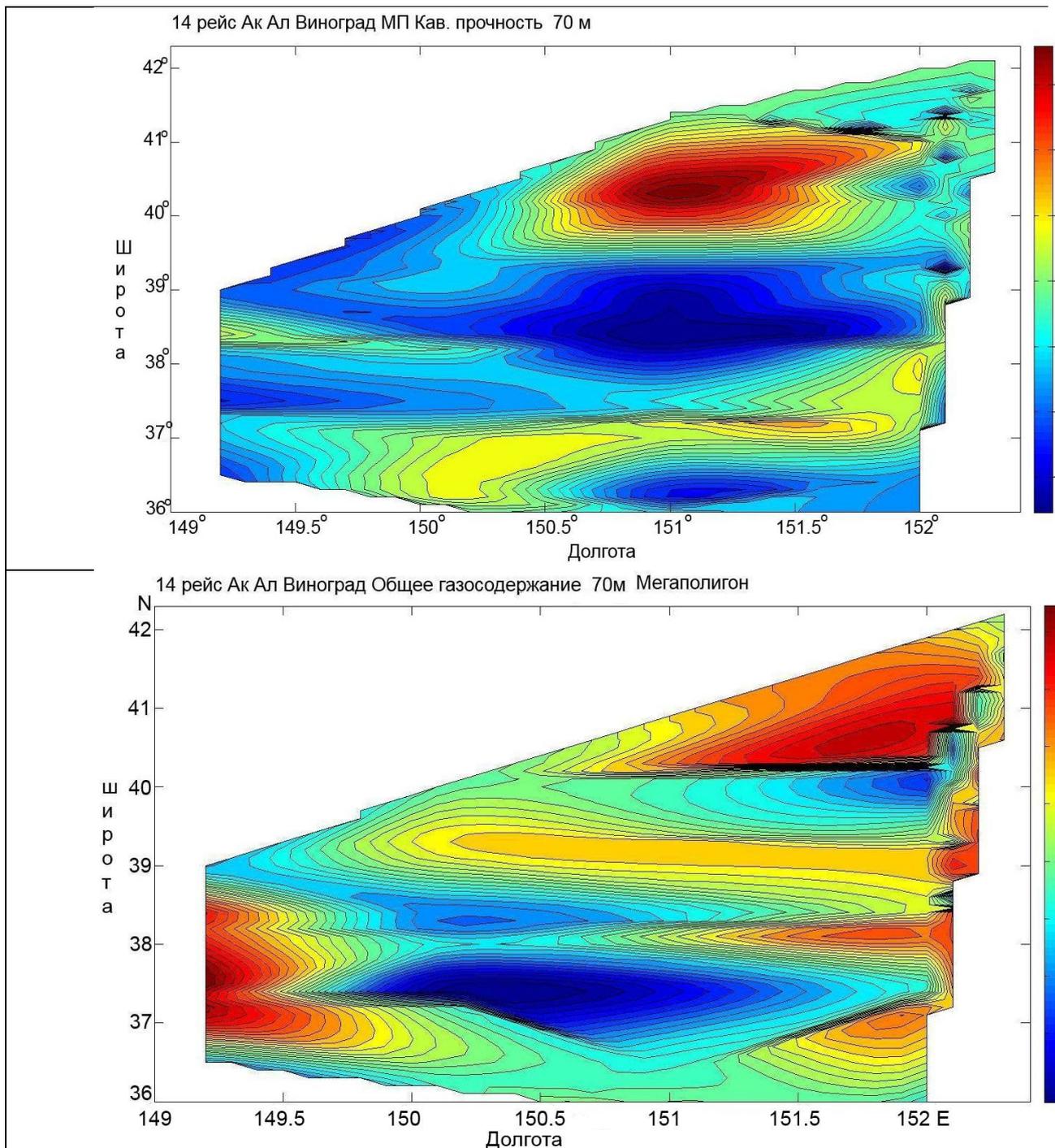


Рис.2. Изолинии величины кавитационной прочности (вверху); изолинии общего газосодержания (внизу).

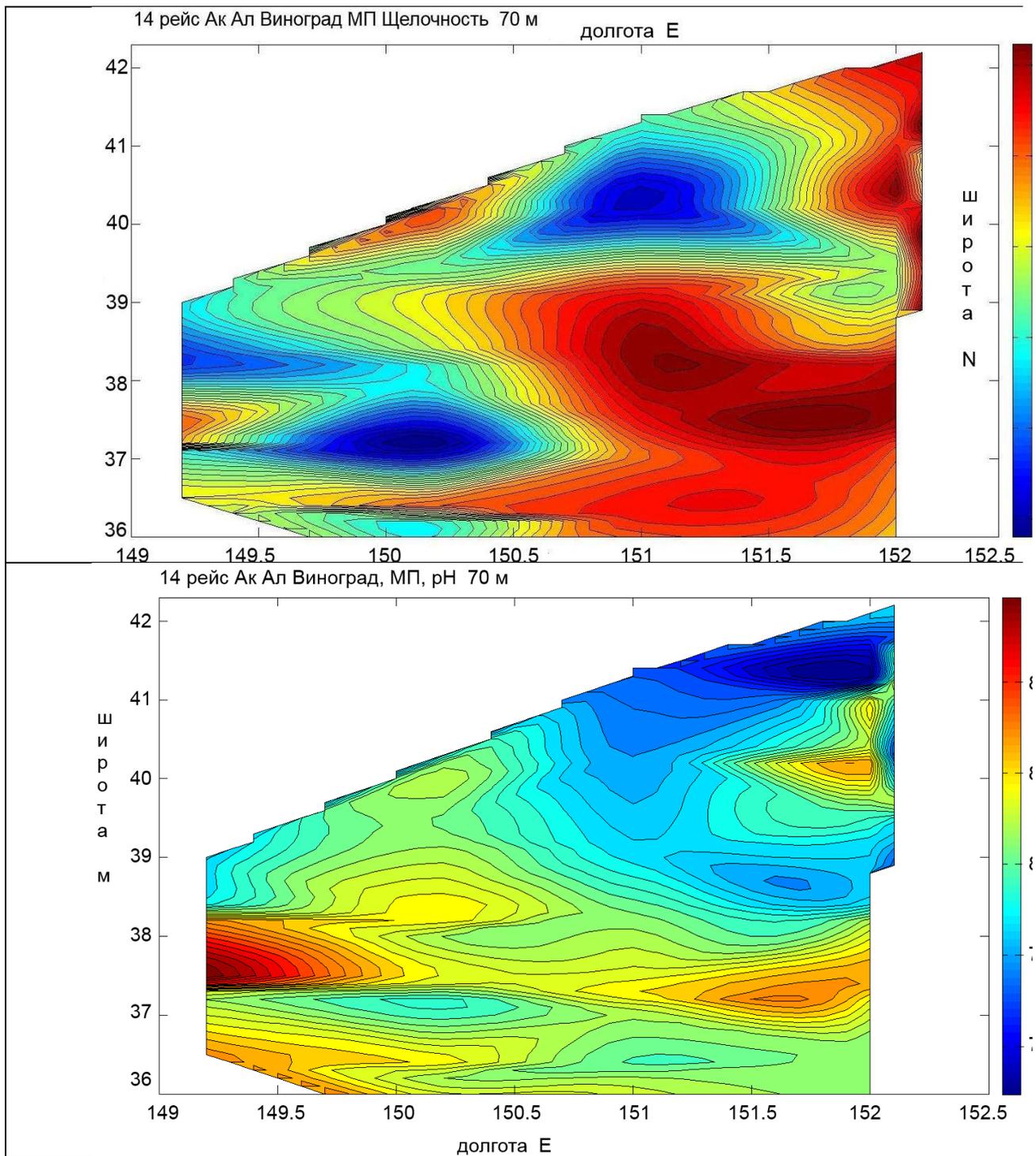


Рис.3. Изолинии щелочности (вверху; изолинии кислотности pH (внизу)).

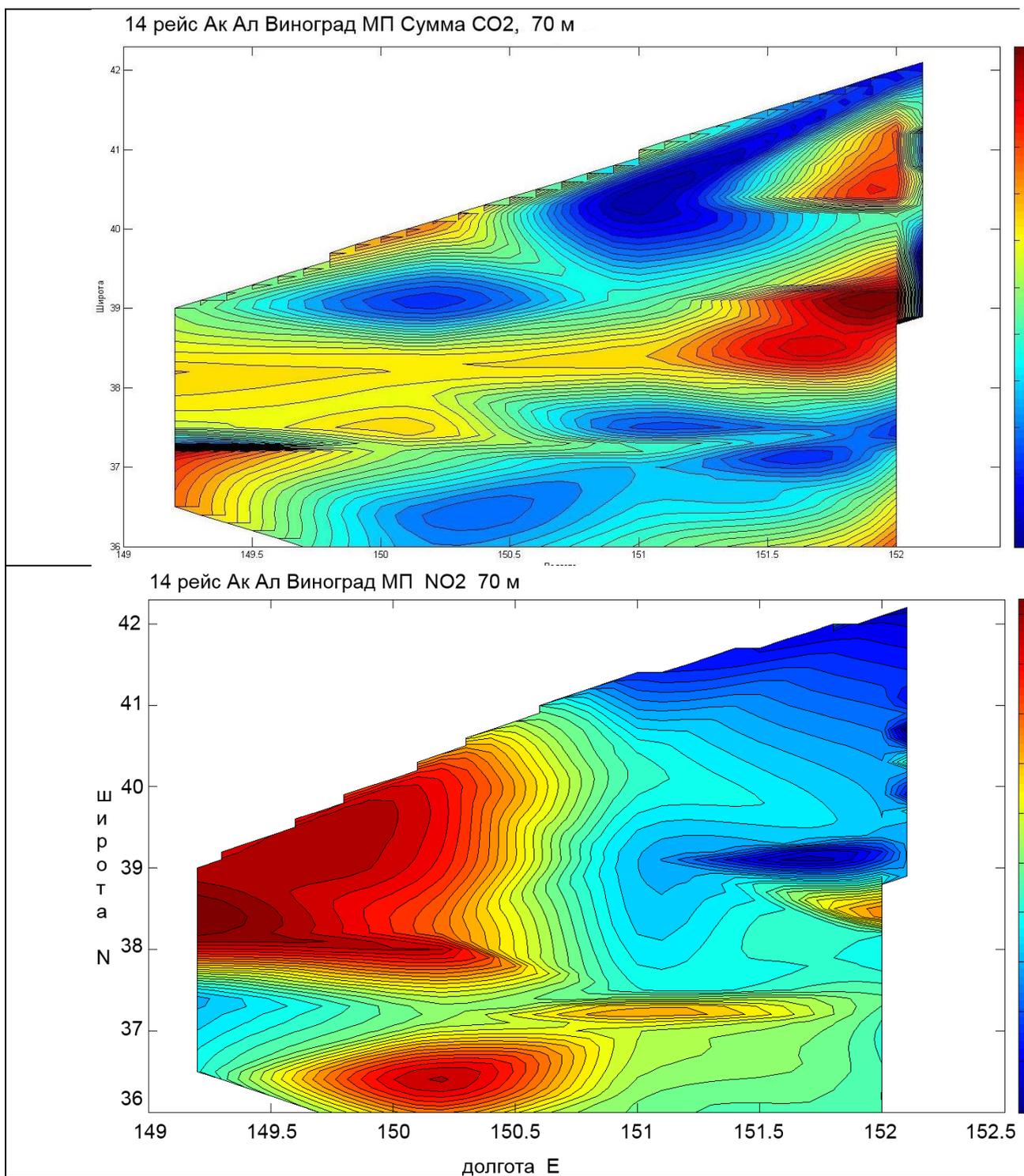


Рис.4. Изолинии суммарного содержания углекислого газа ΣCO_2 (вверху); изолинии нитритов NO_2 .

Вместе с величиной КП измерялись различные параметры морской воды: 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 взвеси C_0 , мг/м³, концентрация мелкой взвеси C_m , мг/м³, концентрация крупной взвеси C_k , мг/м³,

концентрация биовзвеси $C_{\text{ме/м}^3}^{\text{био}}$, концентрация биомассы на глубине 10 м m_{10} , мг/м³, концентрация

биомассы в слое 0 – 15 м $m_{\text{сг}}$, мг/м³, общая щелочность Alk , мг-экв/л, кислотность рН, активность ионов водорода α_{H^+} , общее содержание неорганического углерода ΣCO_2 , ммоль/л, парциальное давление углекислого газа P_{CO_2} , концентрацию биогенных элементов: нитриты NO_2 , мкг/л, фосфаты PO_4 , мкг/л, кремний Si , мкг/л, некоторые другие параметры карбонатной системы, прозрачность α (м⁻¹).

Карбонатная система морской воды включает в себя следующие параметры: кислотность pH , общую щелочность $Alk = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{BOH}_4^-]$, общую концентрацию карбонатных ионов $[\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3]$, концентрацию свободной углекислоты $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$. К ней непосредственно примыкает концентрация Ca . Карбонатная система связана со многими природными процессами, протекающими в морских водах. В первую очередь это процессы фотосинтеза, то есть выделение кислорода O_2 и поглощение углекислого газа CO_2 , окисление органического вещества, то есть поглощение кислорода O_2 и выделение углекислого газа CO_2 , растворение карбонатов ($\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

$\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$) и осаждение карбонатов ($\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$).

Одним из районов Мирового океана, где проводились достаточно подробные измерения, как величины кавитационной прочности, так и других параметров морской воды является субарктическая фронтальная зона в северо-западной части Тихого океана. Все исследования проводились в рамках проекта «Мегаполигон». Стандартные гидрологические измерения температуры и солёности морской воды позволяют выделить основные особенности исследуемого района (рис.1), а именно, двухфронтальную структуру, связанную с течениями Куроисио и Ойяиси. Положение Северного фронта (СФ) визуально можно идентифицировать с изотермами 5° – 8°. СФ расположен приблизительно на 41° – 41°30' с.ш. Положение по полю солёности совпадает с температурным фронтом. На рис.1 видно, что Южный фронт (ЮФ) или фронт Куроисио, не пересечен, захвачено только начало северной части фронта.

Измерения величины кавитационной прочности и некоторых элементов карбонатной системы позволили выявить не только расположение фронтов, но и другие, мелкие структуры и особенности этих водных масс. На рис.2-4 отчетливо видна не только конфигурация фронтов но и ячеистая структура параметров морской воды, связанная главным образом с жизнедеятельностью планктона и дивергенцией и конвергенцией водных масс. Жизнедеятельность планктона меняет газовый состав морской воды, на некоторых видах зоопланктона могут находиться мелкие пузырьки газа, и они, по сути, являются «зародышами кавитации». Таким образом, концентрация планктона может опосредовано влиять на величину кавитационной прочности морской воды. Жизнедеятельность планктона, его миграция с глубины на поверхность океана в ночное время может приводить к изменчивости кавитационной прочности морской воды.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить мелкомасштабные структуры распределения различных параметров морской воды, в том числе и величины кавитационной прочности.

Список литературы:

- [1]. Коренфельд М. Упругость и прочность жидкостей // ГИТТЛ, 1951, 109 с.
- [2]. Briggs L.V. Limiting Negative Pressure of Water. // J. Appl. Phys. 1950, v.21, p.721-722.
- [3]. Перник А.Д. Проблемы кавитации.// Л.: Судостроение, 1966, 439 с.
- [4]. Акуличев В.А. Гидратация ионов и кавитационная прочность воды. // Акуст. ж., 1966, т.21, №2, с.160-166.

- [5]. Yilmaz E., Hammit F.G., Keller A. Cavitation inception thresholds in water and nuclei spectra by light-scattering technique. // J. Acoust. Cos. Am., 1976,v.59, No2,, p.329 – 338/
[6]. Sette D., Wanderling F. Nucliation by cosmic rays in ultrasonic cavitation. // Phys. Rev. 1962, 125, p.409 – 417
[7]. Н.П. Мельников, В.П. Елистратов. Мезомасштабная пространственная изменчивость кавитационных порогов морской воды. // Акуст. ж., 2017, т., №1, с.

THE VARIABILITY OF THE CAVITATION STRENGTH, AND OTHER PARAMETERS OF SEA WATER IN THE SURFACE LAYER MESOSCALE VORTEX SUBARCTIC FRONT IN THE PACIFIC OCEAN

Melnikov Nikolai Pavlovich;
Reznikov Boris Ivanovich

Key words: cavitation strength of sea water, the cavitation threshold.

The results of measurements of cavitation strength, the hydrological characteristics and some elements of the carbonate system of sea water in the surface layer mesoscale ring in the subarctic front in the Pacific ocean are presented. It is shown that the distribution of elements of the carbonate system to more fully show the structure of the water masses than the traditional hydrological parameters.