

ПРИРОДООХРАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЭКОЛОГИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

УДК 551.463+551.464(262.54)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРЫ, СОЛЕННОСТИ И СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОДАХ АЗОВСКОГО МОРЯ

**В. М. Шишкин, Е. А. Безрукавая, Т. И. Подмарева,
Д. С. Бурлачко, В. Г. Карманов, И. Ф. Фоменко**

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону
E-mail: gidroazniirh@yandex.ru*

Аннотация. На основании модельного графика, построенного по данным экспедиционных исследований Азовского моря за теплый период 2016–2017 гг., отражена взаимосвязь трех основных гидрологических параметров водной среды (температура, соленость и скорость звука).

Ключевые слова: температура, соленость, скорость звука, глубина

INTERRELATION OF TEMPERATURE, SALINITY AND SOUND VELOCITY IN THE WATERS OF THE AZOV SEA

**V. M. Shishkin, E. A. Bezrukavaya, T. I. Podmareva,
D. S. Burlachko, V. G. Karmanov, I. F. Fomenko**

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don
E-mail: gidroazniirh@yandex.ru*

Abstract. Through the use of a model chart plotted on the basis of the expedition data, collected in the Azov Sea during the warm period of 2016–2017, interrelation of the three main hydrological parameters of aquatic environment (temperature, salinity and sound velocity) is represented.

Keywords: temperature, salinity, sound velocity, depth

ВВЕДЕНИЕ

Идея наглядно отразить в табличной форме массив зависимых друг от друга данных в целом не нова. Так, например, матрицы элементов, отражающих подобную связь между тремя переменными (температура воды, соленость и глубина), влияющими на скорость распространения звука в воде, стандартно представляются в виде морских таблиц, например, рассчитанных по формуле Вильсона [1], или выявляются посредством графического представления [2]. Другой путь совместного использования таких данных предложен ЮНЕСКО [3] — это узаконенный метод полиномиального вычисления солености в океанской среде. Во всех случаях отмеченного сравнения фигурируют три упомянутых параметра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения поставленной задачи были использованы экспедиционные материалы по Азовскому морю за теплый период года (на примере данных, полученных в августе 2016 г. и в октябре 2016 и 2017 гг.). В работе использованы математико-статистические и графоаналитические методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При работе с номограммами главное внимание обычно уделяется скорости звука (C), т. к. именно с этой переменной изменчивость скоростных характеристик весьма неплохо коррелирует с температурой (T) и несколько хуже с соленостью (S). В этой связи представляется целесообразным рассмотрение изменчивости скорости C на фоне анализа T, S -соотношений в воде по глубине (H). Данные рассмотрены с системных позиций. Определив тесноту статистической взаимосвязанности элементов, можно вычислить каждую из трех зависимых переменных в общей взаимосвязи. Например, для вод Азовского моря выявление моделей, описывающих статистическую связь между скоростью звука (C) и температурой воды (T) придонного слоя, можно выразить через уравнение, значение коэффициента корреляции (R) составляло 0,98.

$$C = 0,5307 * T^2 - 14,662 * T + 1584,6 .$$

В используемых рядах данных для определения статистических связей между анализируемыми параметрами температурные значения изменялись в диапазоне примерно 14 °С (октябрь 2016 г.) — 24 °С (август 2016 г.). Установленная связь между соленостью (S) в придонном слое (при изменчивости солености от 12,49 до 14,51 ‰) и скоростью звука характеризовалась теснотой связи $R=0,94$ и описывалась уравнением:

$$S = 0,0143 * C - 7,6185 .$$

Определение значений солености посредством применения 2-факторной модели может быть представлено уравнением:

$$S = 5,082 * 10^{-4} * C + 0,899 * H + 6,966 ,$$

где S — соленость воды в слое 10–11,5 м; H — глубина отбора пробы в этом слое, $R=0,90$ (при этом следует констатировать, что скорость звука при необходимости может быть представлена через степенное выражение: $C = 1349,4 * T^{0,0353}$ ($R=0,99$)).

Процесс статистического сопоставления переменных с построением математических моделей можно было бы продолжить, но этот путь, на наш взгляд, нецелесообразен. Иной, более простой и предпочтительный вариант для выполнения подобных операций через графическую форму позволяет не только осуществлять получение конкретной информации по каждому из элементов, но и выборочно рассматривать балансовые соотношения между этими элементами. Для этих целей построен компактный график, с помощью которого (хотя из-за значительных упрощений заведомо с определенной погрешностью) можно будет также решать поставленные задачи (рисунок).

Геометрическая интерпретация взаимосвязанных данных, представленная на графике, заключается в том, что при соответствующем рисунке линий, расположенных в термохалинном поле графика, очевидно, что вершинами являются только оси значений скоростей звука. Строчные значения графика трансформированы функциональными кривыми изменений температуры, солености и глубины. Область допустимых решений ограничивается диапазоном изменения скорости звука (1470–1510 м/с). Прочие ограничения (в т. ч. и нелинейные) лимитируются температурой (от 11 до 24 °С) и значениями солености (от 13,06 до 14,77 ‰) при соответствующих глубинах (от 0 до 13 м).

Предложенный метод апробирован на 27 выборочных значениях, определенных по графику и сопоставленных с фактическими. Проведенный анализ свидетельствует о вполне приемлемом качестве вычисленных элементов. Так, согласно проведенным расчетам и статистической обработке выборок данных, скорость звука в воде варьировала от 1492 до 1509 м/с, составив в среднем 1496,714 м/с, при этом средние значения температуры воды составили 19,1 °С, солености — 13,91 ‰ (при средней глубине 5,6 м). Принимая в расчет указанные осредненные данные, определено, что скорость звука, равная по формуле Вильсона 1495,128 м/с, практически сопоставима с результатом, полученным по графику.

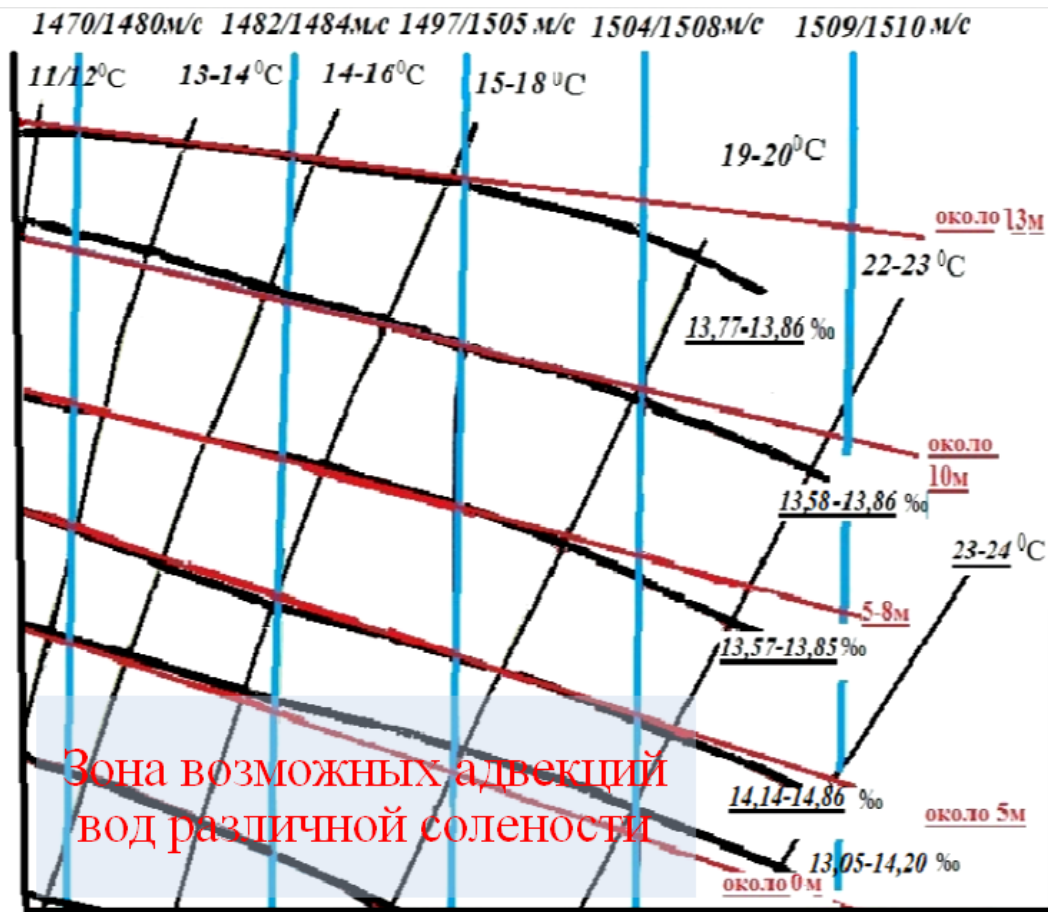


График соответствия в совместном распределении значений скорости звука (м/с), температуры (°C) и солености (‰) в водной среде Азовского моря в 2016 г. на стандартных горизонтах (м)

Помимо этого, при наличии значительного массива данных, определенных по графику, появляется возможность устанавливать новые зависимости. Так, например, для вычисления солености (S), исходя из совокупности выборки, состоящей из 27 значений, получены следующие статистические зависимости солености от температуры (T):

$$S = 0,020 * T^2 - 0,648 * T + 18,89 \quad (R=0,683).$$

В соответствии с последним уравнением, при $T=19,1$ °C расчетное значение солености окажется равным 13,81 ‰, т. е. с «невязкой» в 0,1 ‰.

Если проанализировать экспедиционные данные по солености, полученные в октябре 2017 г., то при определении солености в собственно море по вышеприведенной формуле окажется, что расчетная соленость в море на 5 выборочных станциях изменялась от 13,66 до 14,52 ‰. Реальный диапазон изменения солености в октябре 2017 г. составлял на северо-востоке и западе собственно моря — 13,19 и 15,00 ‰, соответственно.

Вероятность возникновения значительных отклонений следует ожидать в отдельных случаях графического анализа совокупностей элементов, отражающих физические свойства воды в областях, идентифицирующих незначительную степень минерализации среды с высокими значениями температур. Область такой зоны отмечена в нижней части диаграммы светло-голубым цветом. На практике в реальных условиях к таким участкам моря следует относить районы, подверженные адвективному влиянию со стороны других «зашумляющих» источников (например, эпизодическое поступление вод различной солености). В подобных ситуациях ошибки могут возрастать. Так, согласно исследованиям, соленость на станции 32Ц, зафиксированная в октябре 2016 г., отличалась от «графически» расчетной на 1,22 ‰. Возможными причинами столь существенного отклонения могли послужить близость расположенной станции к устьевой области р. Кубань и воздействие опресненных вод.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенный метод оценки взаимосвязи гидрологических характеристик Азовского моря путем построения графической модели расширяет инструментальную основу в подобных исследованиях. При этом следует отметить, что принятые здесь соотношения между элементами нуждаются в корректировке по мере изменения гидрологического режима Азовского моря. Тем не менее, заложенная основа в получении результатов с использованием графической интерпретации материала остается вполне приемлемой для Азовского моря. Рассматриваемый в работе подход к анализу элементов позволяет расширять граничные условия, что является немаловажным фактором при поиске оптимальных путей решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Океанографические таблицы. Изд. 4-е, перераб. и дополн. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 477 с.
2. Мамаев О.И. *T, S* — анализ вод Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 364 с.
3. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO technical pages in marine science. UNESCO, 1983. Vol. 44. 53 pp.