

# ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ АЭРОБНЫХ ВОД В ЧЕРНОМ МОРЕ

*А.М. Суворов, А.Х. Халиуллин, Е.А. Годин*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: suvorov@alpha.mhi.iuf.net

*Обосновывается необходимость разработки и обсуждаются перспективы создания информационной технологии исследования положения нижней границы аэробных вод в Черном море. Излагаются первые полученные результаты. Описывается созданная специализированная база данных. Приводится предварительные версии карт положения нижней границы аэробной зоны в Черном море в 20-е и 90-е годы XX века, построенные на основе этой базы.*

Характерной особенностью Черного моря является наличие относительно тонкого поверхностного слоя аэробных вод и мощного глубинного сероводородного слоя. На протяжении всего периода исследований этот феномен привлекал пристальное внимание ученых-океанологов.

Первые детальные исследования пространственно-временного распределения концентраций растворенного сероводорода и кислорода в Черном море были выполнены в 20-е годы XX века во время экспедиционных исследований под руководством А. Г. Книповича (1923 - 1926 гг.) и Ю.М. Шокальского (1924 - 1928 гг.). К настоящему времени опубликованы многочисленные работы, посвященные изучению как аэробной, так и сероводородной зон Черного моря, а также зоны взаимодействия аэробных и анаэробных вод.

В 90-е годы был выполнен ряд исследований, позволивших получить новые результаты и уточнить существовавшие представления как относительно аэробной зоны, так и зоны сероводородного заражения Черного моря. В частности, были получены новые данные о характере поведения верхней границы сероводородной зоны (ВГ H<sub>2</sub>S-зоны) Черного моря на различных временных масштабах и показано, что изменение положения ВГ H<sub>2</sub>S-зоны не имеет тренда, а ВГ H<sub>2</sub>S-зоны совершают колебательные движения во времени [1]. Этот результат был получен в рамках специальной информационной технологии [2].

В настоящее время представляется актуальной разработка информационной технологии исследования положения нижней границы аэробной зоны в Черном море (НГ O<sub>2</sub>-зоны).

Представления об общих закономерностях распределения растворенного кислорода в Черном море изложены в относительно небольшом количестве трудов — монографии Б.А. Скопинцева [3], базирующейся на материалах наблюдений до начала 60-х годов, работе Е.Ф. Шульгиной [4], обобщающей материалы наблюдений с 1948 по 1963 год в виде осредненных карт на горизонтах 0, 50, 100 и 200 м по сезонам года, монографическом справочнике под редакцией А.И. Симонова, А.И. Рябинина, Д.Е. Гершановича [5], в котором проанализированы материалы наблюдений с 1939 по 1986 год. В силу различных причин авторы этих работ использовали не все имевшиеся на тот момент времени массивы наблюдений, а созданные на этой основе карты содержания растворенного кислорода на различных пространственных и временных масштабах в Черном море, кроме того, в отдельных случаях небезупречны с точки зрения методики обработки данных и построения карт. В определенной степени попытки восполнить эти пробелы предпринимались в ходе работ по созданию "Комплексного цифрового атласа-справочника Черного моря" [6].

В ходе работ по созданию информационной технологии исследования положения НГ O<sub>2</sub>-зоны предусматривается формирование специализированной наиболее полной базы данных гидрологических и гидрохимических параметров, создание на этой информационной базе цифрового атласа топографии НГ O<sub>2</sub>-зоны и проведение исследований с целью установления связи положения НГ O<sub>2</sub>-зоны с другими параметрами природной среды.

В последующем предполагается создание единой информационной системы отображения состояния аэробной зоны и положения ее нижней границы.

Основными функциями этой системы (рисунок 1) должны стать:

- сбор, контроль качества и хранение больших объемов информации о состоянии аэробной зоны Черного моря;
- ведение совокупности данных сложной структуры;
- логическая и содержательная обработка информации в процессе решения функциональных задач;
- выдача информации и результатов в форме, удобной для пользователя.



Рисунок 1- Структурная схема информационной системы исследования и отображения аэробной зоны Черного моря.

Блок архивных источников и текущих данных наблюдений аэробной зоны включает в себя поиск и сбор всех данных наблюдений аэробной зоны, проведенных за весь период исследований. Эти данные находятся в настоящее время, как на магнитных, так и на бумажных носителях в архивах и фондах различных институтов, лабораторий, отдельных специалистов из разных стран.

Модуль преобразования в цифровую форму и контроля качества данных обеспечивает перенос всех собранных данных наблюдений кислорода в Черном море на магнитные носители в едином унифицированном формате с проверкой их достоверности. Контроль качества всех этих данных производится как с помощью методик, рекомендованных Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО [7], так и с использованием экспертизы оценок специалистов-оceanологов.

База данных наблюдений концентрации кислорода на различных глубинах представляет собой исходный массив первичных данных, причем каждому значению концентрации кислорода в морской среде ставится в соответствие код качества.

База данных положения нижней границы аэробной зоны формируется на основе базы данных наблюдений концентрации кислорода с использованием специализированных программ.

База данных по отдельным параметрам природной среды включает массивы наблюдений параметров морской среды и атмосферы, с которыми выявлена высокая степень связи положения НГ O<sub>2</sub>-зоны и позволяющих уточнять ее положение.

База осредненных по пространству и по времени данных представляет собой осредненные данные положения нижней границы аэробной зоны по квадратам Черного моря и по годам, десятилетиям, сезонам, всему периоду наблюдений, а также осредненные значения концентрации кислорода на различных глубинах. Предусматривается также, в зависимости от решаемой задачи, выбор масштабов осреднения по пространству и во времени и формирование соответствующих баз данных.

Пакет прикладных и специализированных программ включает в себя систему управления базами данных, графический пакет для

построения карт, а так же комплекс разработанных программ для обработки данных и получения результатов этой обработки.

Модуль отображения положения НГ О<sub>2</sub>-зоны и модуль отображения состояния аэробной зоны обеспечивают наглядное представление результатов работы информационной системы.

Модуль моделей и методик диагноза и прогноза состояния аэробной зоны включает в себя базу знаний. Входящие в данную базу методики и модели позволяют восстанавливать и диагностировать состояние аэробной зоны в районах и в моменты времени, в которые отсутствуют данные наблюдений, а также прогнозировать состояние аэробной зоны в зависимости от антропогенного воздействия и природных факторов.

Одним из первых шагов по реализации информационной технологии исследования положения НГ О<sub>2</sub>-зоны в Черном море является формирование специализированной базы данных гидрологических и гидрохимических параметров. В настоящее время база данных содержит 15368 гидрохимических (с наблюдениями концентраций кислорода) и 37547 гидрологических станций выполненных с 1890 по 2000 год в глубоководной части Черного моря. Каталог этих данных приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Каталог данных гидрохимических (кислород) и гидрологических наблюдений в глубоководной части моря по годам

Год	Количество станций	
	Гидрохими-ческих	Гидрологи-ческих
1	2	3
1890		36
1891		57
1910		1
1922		1
1923	6	12
1924	46	53
1925	85	122
1926	75	102
1927	91	68
1928	27	39
1929	39	80
1930	2	23
1931	9	31
1932	22	201
1933		28
1934		39
1935	166	145
1936		7
1937		331
1938		293

1	2	3
1939		88
1940		98
1941		102
1946		3
1947		1
1948		73
1949		122
1950		41
1951		38
1953	13	44
1954	20	84
1955	61	204
1956	44	140
1957	385	827
1958	235	919
1959	54	596
1960	108	752
1961	367	777
1962	112	506
1963	278	885
1964	347	863
1965	182	457
1966	220	369
1967	107	138
1968	154	214
1969	171	535
1970	91	327
1971	54	279
1972	275	491
1973	268	571
1974	338	685
1975	262	1266
1976	294	2003
1977	245	607
1978	533	733
1979	542	642
1980	479	776
1981	643	826
1982	607	840
1983	663	1102
1984	401	1308
1985	700	1258
1986	771	1352
1987	714	1598
1988	787	1808
1989	1248	1812
1990	729	1283
1991	539	1376
1992	452	1353
1993	261	1191
1994	7	623
1995	14	487
1996	12	285
1997	7	23
1998	6	73
2000		24
Всего	15368	37547

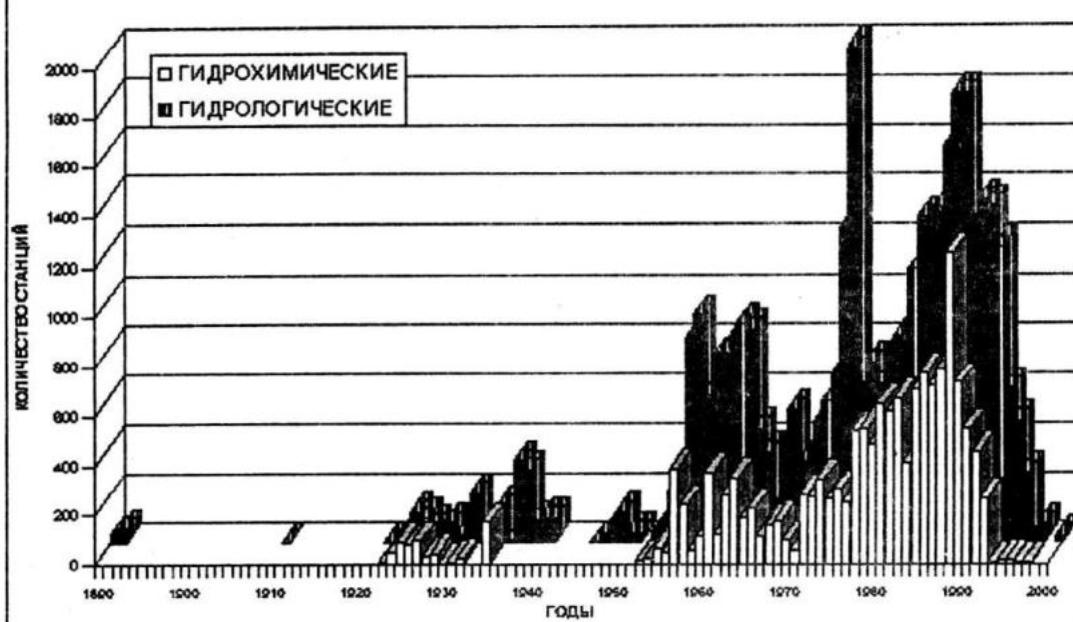


Рисунок 2 - Распределение гидрохимических и гидрологических станций по годам.

Хотя период, охватываемый наблюдениями, достаточно велик, но временное и пространственное распределение данных крайне неравномерно.

На рисунке 2 представлено распределение гидрохимических и гидрологических станций по годам. Гидрологические наблюдения в Черном море проводились достаточно регулярно с 1956 г. Однако, наибольшее количество как гидрологических, так и гидрохимических наблюдений выполнено во второй по-

ловине 80-х годов XX столетия.

На рисунке 3 представлено пространственное распределение гидрохимических данных. Числа на рисунке обозначают: вверху - номер квадрата  $40' \times 60'$ , внизу - количество станций, выполненных в данном квадрате за весь период наблюдений. Максимальное количество гидрохимических станций выполнено в северной части западного и центрального районов моря. Остальные данные распределены более равномерно по квадратам моря.

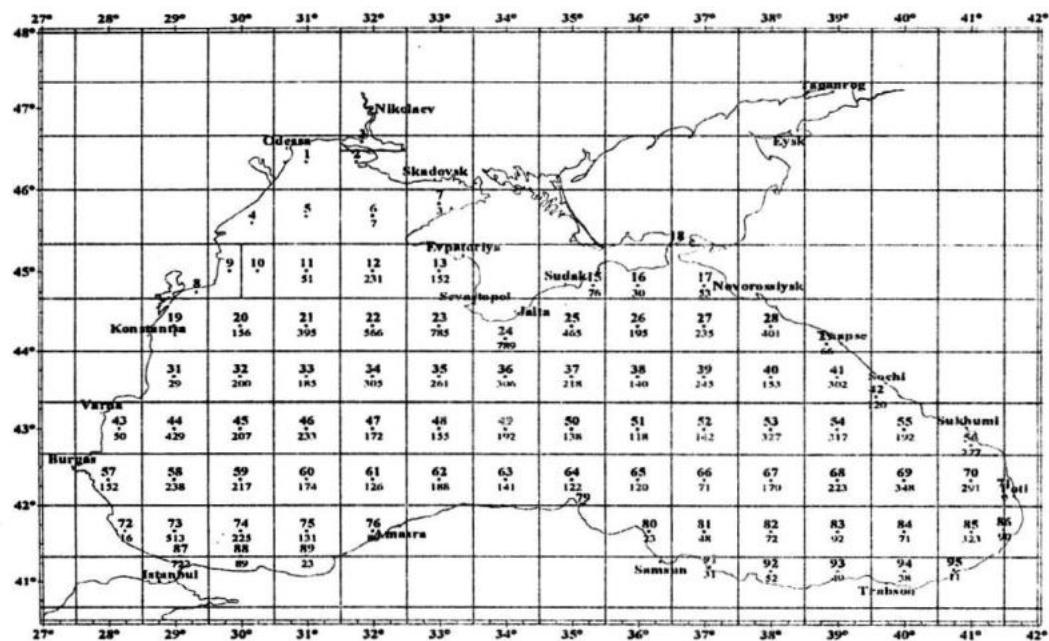


Рисунок 3 - Пространственное распределение гидрохимических данных

На рисунке 4 представлено пространственное распределение гидрологических данных. Пространственное распределение данных также неравномерно. Наиболее освещена восточная часть Черного моря. В западной части наиболее освещены квадраты прилегающие к болгарскому побережью. Центральный район достаточно хорошо освещен только в своей северной части.

Следует подчеркнуть, что благодаря активному участию МГИ НАНУ в реализации ряда международных проектов направленных на спасение и архивацию данных океанографии

(например, MEDAR/MEDATLAS II) за последние годы удалось значительно пополнить базы океанографических данных по Черному морю. Так, если при создании "Комплексного цифрового атласа-справочника Черного моря" (1998 г.) использовались данные, полученные на 24429 гидрологических станциях выполненных в глубоководной части Черного моря и 4361 станций наблюдений характеристик аэробной зоны, то в настоящее время база включает соответственно 37547 и 15368 станций и работы по пополнению баз данных продолжаются.

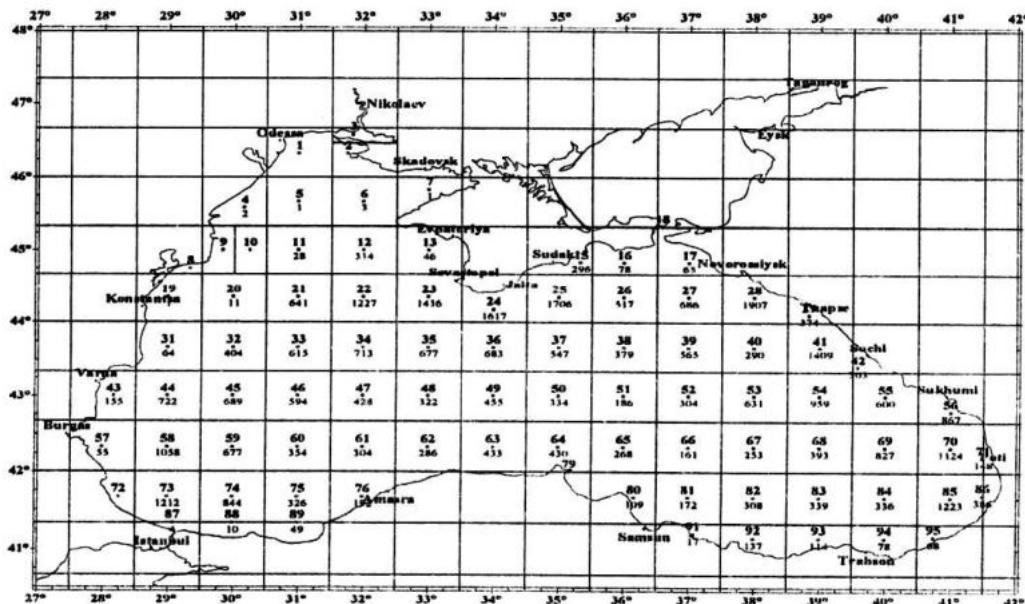


Рисунок 4 - Пространственное распределение гидрологических данных



Рисунок 5 – Среднее положение нижней границы аэробной зоны  
в 20-е годы XX века (предварительная версия)

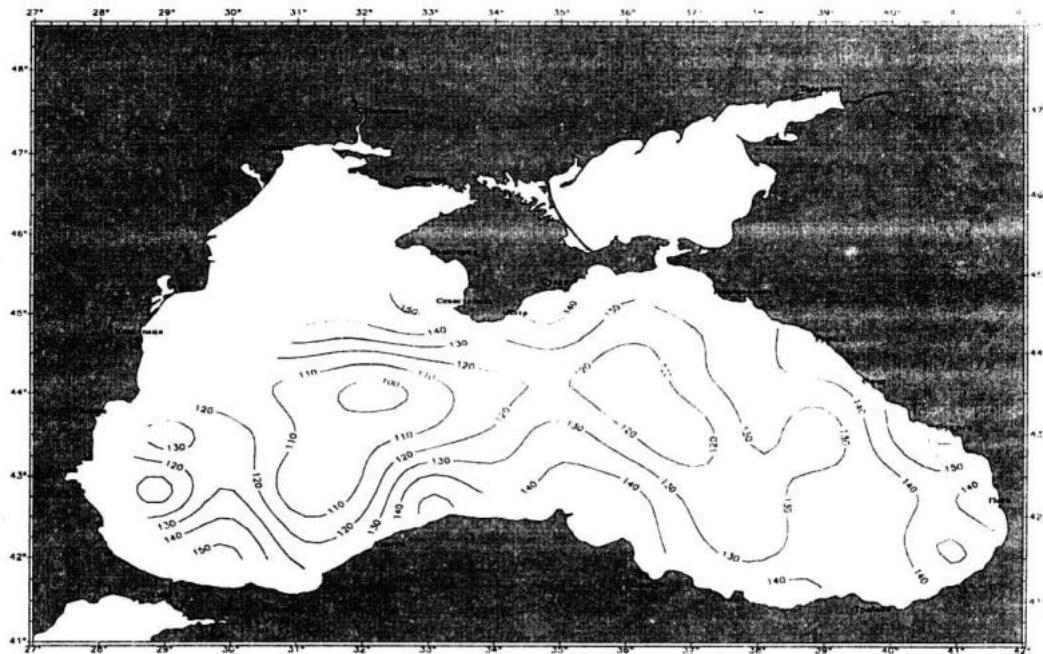


Рисунок 6 – Среднее положение нижней границы аэробной зоны в 90-е годы XX века (предварительная версия)

Наряду с работой по формированию баз данных в настоящее время ведутся работы и по созданию предварительных версий отдельных карт цифрового атласа на основе уже имеющегося массива данных. Распечатки предварительных версий карт среднего положения НГ О<sub>2</sub>-зоны в Черном море приведены на рисунке 5 (20-е годы XX века) и на рисунке 6 (90-е годы XX века). Сравнение этих карт позволяет сделать предварительные выводы об изменчивости положения НГ О<sub>2</sub>-зоны за этот период.

Разработка и реализация информационной технологии исследования положения нижней границы аэробных вод в Черном море позволит получить новые данные о поведении НГ О<sub>2</sub>-зоны на различных пространственных и временных масштабах и уточнить существующие карты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Суворов А.М., Халиуллин А.Х., Годин Е.А. О долгопериодных изменениях положения верхней границы сероводородной зоны Черного моря // Морской гидрофизический журнал. - 1999. - № 2. - С. 62-70 .
- Suvorov A.M., Eremeev V.N., Khaliulin A.Kh., Godin E.A. Oceanographic Data Development for Anoxic zone boundary in the

Black Sea // Intagrated Approach to Environmental Data Management Systems. - Dordrecht (Netherlands) - 1996. - P. 487-494.

3. Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. - Л.: Гидрометеоиздат, 1975.- 336 с.

4. Шульгина Е.Ф. Распределение кислорода в Черном море // Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. - Севастополь, 1980, - С. 97-111.

5. Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Выпуск 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Под ред. Симонова А.И., Рябинина А.И., Гершановича Д.Е. - Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 1992.- 220 с.

6. Еремеев В.Н., Суворов А.М., Халиуллин А.Х., Годин Е.А. Океанологические данные по Черному морю и создание на их основе комплексного цифрового атласа-справочника // Сб. Системы контроля окружающей среды. - Севастополь: МГИ НАН Украины, -1999. - С. 162-167.

7. Manual of Quality control procedures for validation of Oceanographic Data IOC Manuals and Guides No.26, 1993. UNESCO, 436 p.