УДК 591.148: 593.8(262.5)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ (*HYDRO_IPTS*) В ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Л.А. Мельник, В.В. Мельников, М.В. Коваленко, С.А. Мазлумян

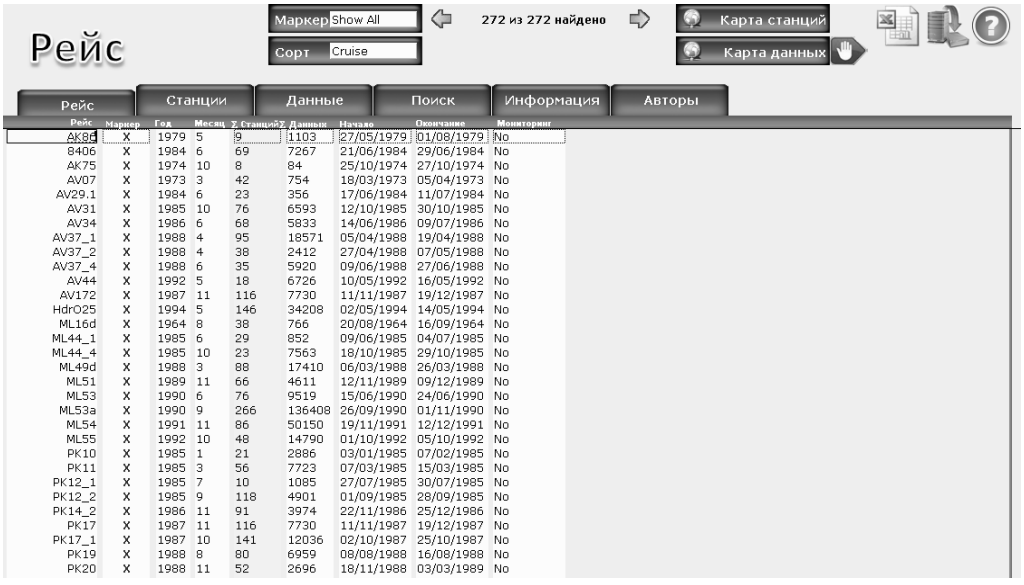
Институт природно-технических систем
г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: melniklidi@gmail.com

Рассматривается структура и функции современной версии базы данных (БД), предназначенной для обработки черноморской океанографической информации. Интерфейс программного обеспечения отличает эргономичность, быстрое усвоение и последующий анализ массивов данных многолетних исследований. Представлены результаты биоокеанографических исследований, проведенных в ходе 33-го рейса НИС «Maria S. Merian» (Германия) в центральной части Черного моря.

Введение. В течение последних двадцати лет в ряде международных проектов: BSEP, BSOC, GOOS, MEDCOST, GLOBEC, UNEP, HERMES, HYPOX, UNDP, имевших место в бассейне Черного моря, были сформированы унифицированные форматы хранения и обработки океанографических данных. В исследованиях были сформированы обширные открытые БД. Существенный вклад в формирование БД по гидрологии Чёрного моря внесли специалисты Морского гидрофизического института РАН, которые располагают самой значительной региональной системой управления базами океанографического банка данных.

В ходе научных исследований массивы биоокеанографических данных непрерывно пополняются, на фоне непрерывного прогресса в области IT технологий, что приводит к появлению новых версий программ для более эффективной обработки данных. Авторы настоящей работы показывают новую БД, которая представляет собой удобный инструмент для повседневной работы океанографа. Работа с описываемой БД позволяет минимизировать усилия широкого круга пользователей по подготовке исходных данных, их обработке и оценке полученных результатов.

Описание системы. Интерфейс программы состоит из следующих основных разделов: «Рейсы», «Станции», «Данные», «Поиск», «Информация» и «Авторы» (рис. 1). Каждый раздел имеет кнопку экспорта данных в MS Excel и кнопку резервного копирования системы на рабочий стол. Кроме того, имеется возможность быстрого выбора станций мониторинга.



Рейс	Маркер	Год	Месяц	Σ Станций	Σ Данных	Начало	Окончание	Мониторинг
AK86	X	1979	5	9	1103	27/05/1979	01/08/1979	No
8406	X	1984	6	69	7267	21/06/1984	29/06/1984	No
AK75	X	1974	10	8	84	25/10/1974	27/10/1974	No
AV07	X	1973	3	42	754	18/03/1973	05/04/1973	No
AV29.1	X	1984	6	23	356	17/06/1984	11/07/1984	No
AV31	X	1985	10	76	6593	12/10/1985	30/10/1985	No
AV34	X	1986	6	68	5833	14/06/1986	09/07/1986	No
AV37_1	X	1988	4	95	18571	05/04/1988	19/04/1988	No
AV37_2	X	1988	4	38	2412	27/04/1988	07/05/1988	No
AV37_4	X	1988	6	35	5920	09/06/1988	27/06/1988	No
AV44	X	1992	5	18	6726	10/05/1992	16/05/1992	No
AV172	X	1987	11	116	7730	11/11/1987	19/12/1987	No
HdrO25	X	1994	5	146	34208	02/05/1994	14/05/1994	No
ML16d	X	1964	8	38	766	20/08/1964	16/09/1964	No
ML44_1	X	1985	6	29	852	09/06/1985	04/07/1985	No
ML44_4	X	1985	10	23	7563	18/10/1985	29/10/1985	No
ML49d	X	1988	3	88	17410	06/03/1988	26/03/1988	No
ML51	X	1989	11	66	4611	12/11/1989	09/12/1989	No
ML53	X	1990	6	76	9519	15/06/1990	24/06/1990	No
ML53a	X	1990	9	266	136408	26/09/1990	01/11/1990	No
ML54	X	1991	11	86	50150	19/11/1991	12/12/1991	No
ML55	X	1992	10	48	14790	01/10/1992	05/10/1992	No
PK10	X	1985	1	21	2886	03/01/1985	07/02/1985	No
PK11	X	1985	3	56	7723	07/03/1985	15/03/1985	No
PK12_1	X	1985	7	10	1085	27/07/1985	30/07/1985	No
PK12_2	X	1985	9	118	4901	01/09/1985	28/09/1985	No
PK14_2	X	1986	11	91	3974	22/11/1986	25/12/1986	No
PK17	X	1987	11	116	7730	11/11/1987	19/12/1987	No
PK17_1	X	1987	10	141	12036	02/10/1987	25/10/1987	No
PK19	X	1988	8	80	6959	08/08/1988	16/08/1988	No
PK20	X	1988	11	52	2696	18/11/1988	03/03/1989	No

Р и с. 1. Интерфейс «Hydro_IPTS»

Раздел «Рейсы» (см. рис. 1). В разделе представлен полный список рейсов, введенных в систему, суммарное число станций, измерений по каждому из параметров. Этот раздел является главным управляющим звеном системы. При выборе одного или нескольких рейсов (маркером «S» – selected) все данные этих рейсов будут представлены в основных разделах системы: «Станции», «Данные».

Главными управляющими кнопками для этих операций являются кнопки «Маркер» и «Сорт» (рис. 2), которые имеют следующие функции:

– «All to X» меняет все маркеры на X (т.е. они не выбраны);

– «All to S» меняет все маркеры на S (т.е. выбраны все станции);

– «Show all» отображает все данные независимо от их отметки маркером;

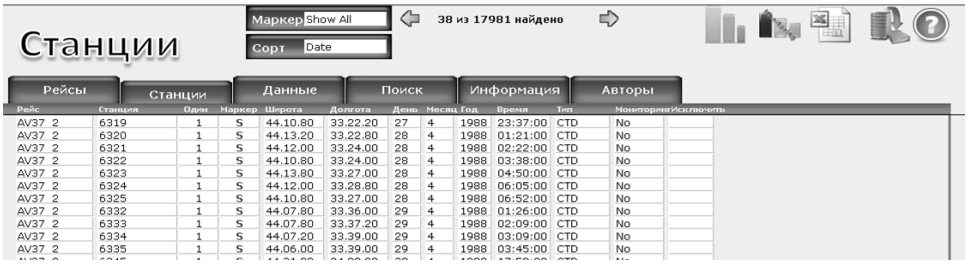
Р и с. 2. Раздел «Рейсы» – кнопки «Маркер» и «Сорт»

– «Show only S» позволяет отобразить только те станции, которые были отмечены знаком S.

Кнопка «Сорт» позволяет отсортировать данные по: рейсам, станциям, мониторингу, дате и времени.

Раздел «Станции» (рис. 3). В нем представлена информация о станциях: номера, широта, долгота, время, тип и т.д. Этот раздел функционально подчинен разделу «Рейсы»: маркеры станций меняются автоматически, если в разделе «Рейс» выбрана экспедиция: станции выбранного рейса будут отмечены маркером «S». При нажатии на маркер станции, символ «S» изменится на «X» и эта станция не будет участвовать в дальнейших расчетах. Станции, отмеченные маркером «S», позволяют построить карты двух видов: карту станций с маршрутом рейса и карту с данными для построения профилей, разрезов и карт.

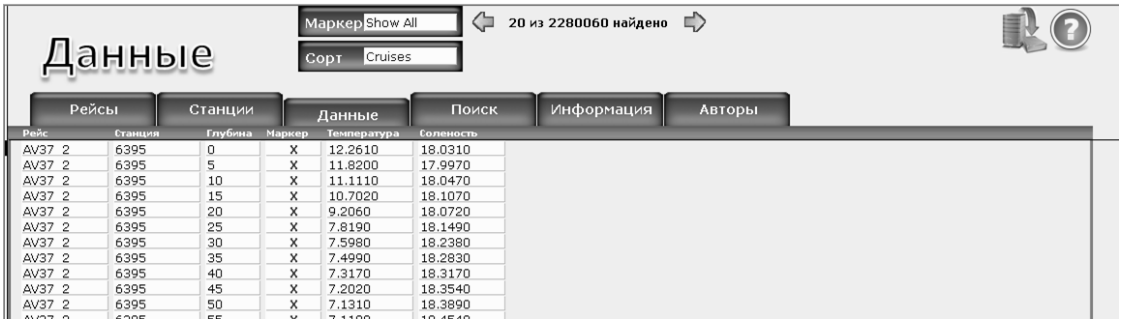
Главной управляющей кнопкой для этих операция является кнопка «Маркер».



Рейс	Станция	Один	Маркер	Широта	Долгота	День	Месяц	Год	Время	Тип	Мониторинг	Исключить
AV37_2	6319	1	S	44.10.80	33.22.20	27	4	1988	23:37:00	CTD	No	
AV37_2	6320	1	S	44.13.20	33.22.80	28	4	1988	01:21:00	CTD	No	
AV37_2	6321	1	S	44.12.00	33.24.00	28	4	1988	02:22:00	CTD	No	
AV37_2	6322	1	S	44.10.80	33.24.00	28	4	1988	03:38:00	CTD	No	
AV37_2	6323	1	S	44.13.80	33.27.00	28	4	1988	04:50:00	CTD	No	
AV37_2	6324	1	S	44.12.00	33.28.80	28	4	1988	06:05:00	CTD	No	
AV37_2	6325	1	S	44.10.80	33.27.00	28	4	1988	06:52:00	CTD	No	
AV37_2	6332	1	S	44.07.80	33.36.00	29	4	1988	01:26:00	CTD	No	
AV37_2	6333	1	S	44.07.80	33.37.20	29	4	1988	02:09:00	CTD	No	
AV37_2	6334	1	S	44.07.20	33.39.00	29	4	1988	03:09:00	CTD	No	
AV37_2	6335	1	S	44.06.00	33.39.00	29	4	1988	03:45:00	CTD	No	

Р и с. 3. Интерфейс раздела «Станции»

Поиск может осуществляться в трех режимах: простой поиск по заданному параметру, поиск по диапазону данных или времени, поиск с добавлением данных к уже имеющимся и поиск с вычитанием данных. Поиск данных (рис. 4, 5) можно осуществлять как по отдельным станциям, так и по группам станций. Вся информация о возможных вариантах поиска отражена на дисплее данного раздела.



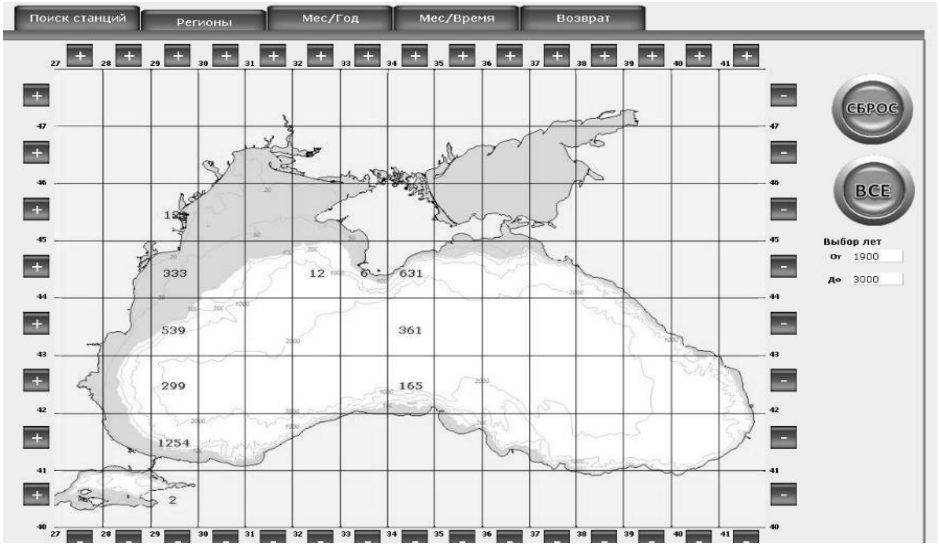
Р и с. 4. Таблица данных о рейсе

Раздел «Карта региона» (рис. 6). Предназначен для поиска данных в бассейне Черного моря. Имеет вид сетки, наложенной на карту. Строки и столбцы таблицы разграничиваются градусами широты и долготы, т.е. ячейка таблицы представляет собой квазиквадрат со стороной в 1 градус долготы/широты. Нажатие на любой из квадратов показывает количество станций в нем за весь период исследования.

В том случае, если в разделе «Рейс» экспедиция отмечена маркером «S» – в данном разделе в ячейках карты отобразится суммарное количество станций данного рейса. В случае нажатия на ячейку с данными этого рейса – она очистится и повторное нажатие приведёт к отображению всех данных, выполненных за весь период исследования. Нажатие на кнопку «+» или «-» добавляет или удаляет результаты на соответствующий диапазон долготы и широты.

Р и с. 5. Раздел комплексного поиска

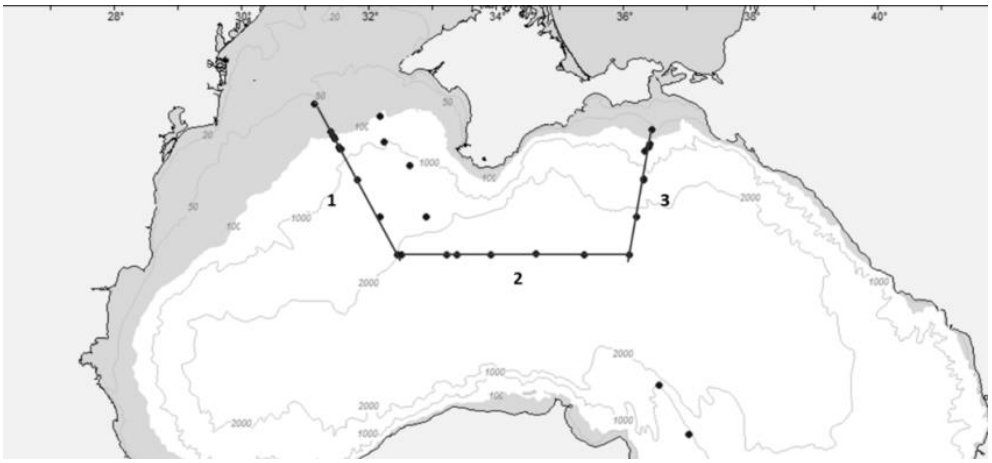
Раздел «Мес/Год» (рис. 7). В нем представлена таблица поиска данных по Годам и Месяцам: именно тех данных, что были отображены в разделе «Карты». На рис. 7 представлена таблица со строками – годами и столбцами – месяцами. В ячейках указывается количество станций, приходящихся на конкретный год и месяц. Можно добавлять, исключать ячейки, ограничивать период годов. Для построения карт в этом разделе имеются собственные кнопки («Карта Станций» и «Карта данных»): построение карт и схем рейсов, карт с данными для программы Surfer (включается автоматически). После завершения процесса сортировки необходимых данных и активации соответствующих функциональных кнопок программа «Hydro_IPTS» запускает программу «Гидролог 5» в режиме биофизика [1, 2].



Р и с. 6. Раздел «Карта региона»: поиск данных по карте

Р и с. 7. Таблица сортировки данных по месяцу и году

Результаты. Гидробиологические работы в ходе экспедиции 33-го рейса НИС «*Maria S. Merian*» (Германия) выполнялись в соответствии с договором о сотрудничестве Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde и МГИ, ИнБЮМ НАНУ в ноябре 2013 г.



Р и с. 8. Схема станций 33-го рейса НИС «Maria S. Merian». (1, 2, 3 разрезы)

В ходе рейса (рис. 8) решались следующие задачи:

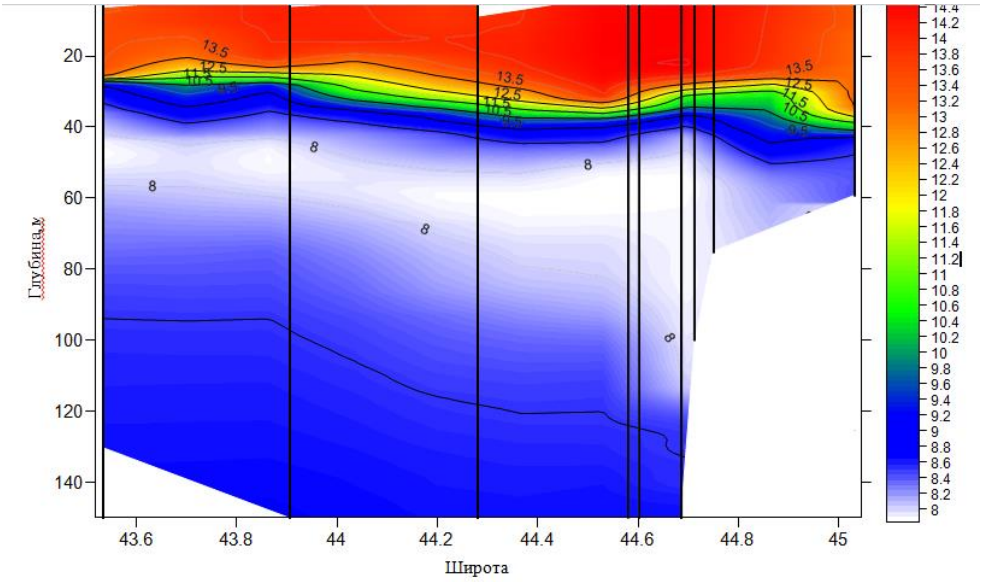
– изучение характеристик гидрологической и биофизической структуры вод и трансформации вод холодного промежуточного слоя (ХПС) в осенний период;

– сопоставление гидрологических условий в СЗ, в центральной и в прибрежной акватории Чёрного моря;

– получение данных о вертикальном распределении гидробиофизических параметров в зоне редоксклина.

Материалы и методика. Измерения гидростатического давления, температуры, электропроводности, концентрации кислорода проводились гидрологобиофизическими зондирующими комплексами Vertical CTD (VCTD)- A Standard SEABIRD 911PLUS CTD (©) и PUMP CTD (IOW-PCTD-(©) S.KRÜGER). CTD-зондирования проводились с помощью бортовой, траловой лебедки с кабель-тросом толщиной 16 мм. На корпусе PUMP CTD были установлены две камеры с высоким разрешением, которые позволяли наблюдать скопления планктона. Данные обоих зондов были обработаны с использованием программы «Hydro_IPTS» в виде одного массива данных.

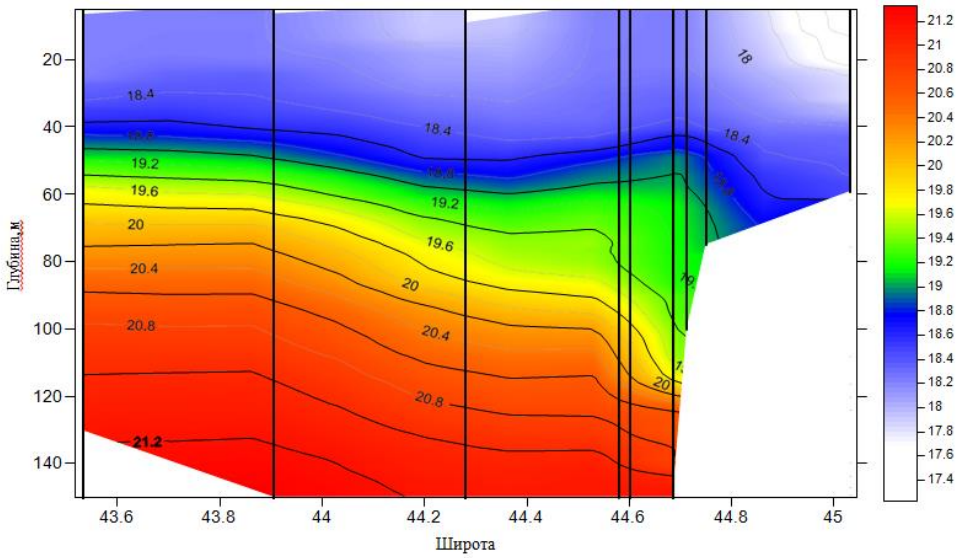
Анализ результатов. Распределение гидрологических параметров на первом разрезе характеризовалось сезонной изменчивостью температуры и солености (рис. 9, 10): по изотерме 8 °С прослеживается формирование холодного промежуточного слоя (ХПС). На изотерме отмечен прогиб к северу, над кромкой континентального шельфа. Холодные воды под действием преобладающих в ноябре дрейфовых течений перемещаются вдоль побережья в юго-западном направлении, достигая устья р. Дунай. Такая конфигурация изотерм в это время года может свидетельствовать о том, что генеральное перемещение поверхностных вод в северо-западной части Черного моря происходит по циклонической траектории. Характерно, что в этот период наблюдается ослабление геострофической составляющей Основного Черноморского течения (ОЧТ) [3 – 5].



Р и с. 9. Распределение температуры (°С) на первом разрезе в слое 5 – 150 м

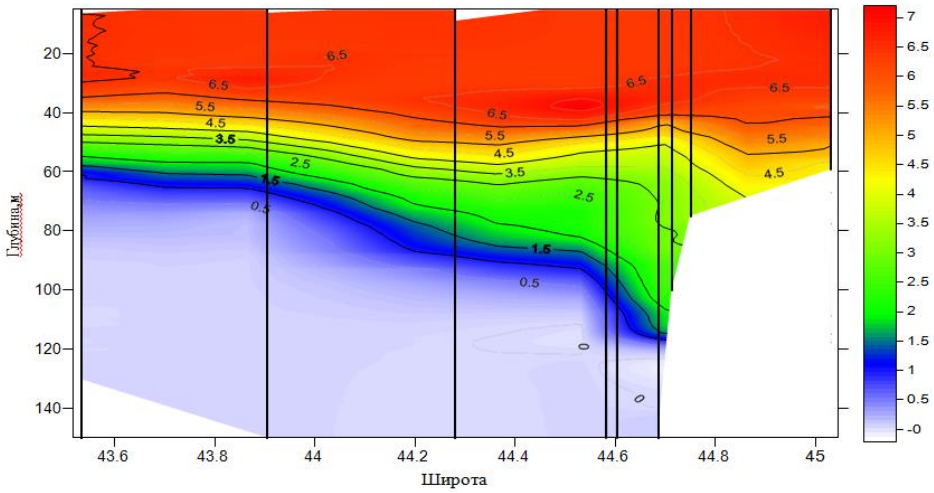
Распределение солености на разрезе № 1 (рис. 10) характеризовалось отчетливым влиянием речного стока на СЗ шельфе и заглублением изогалин в районе ОЧТ, что прослеживается вплоть до глубины 120 м. (т.е. практически до редоксклина).

В период выполнения измерений над кромкой шельфа проходили интенсивные процессы горизонтального перемешивания, о чём свидетельствуют сложная картина циркуляции вод и изменчивая синоптическая ситуация.



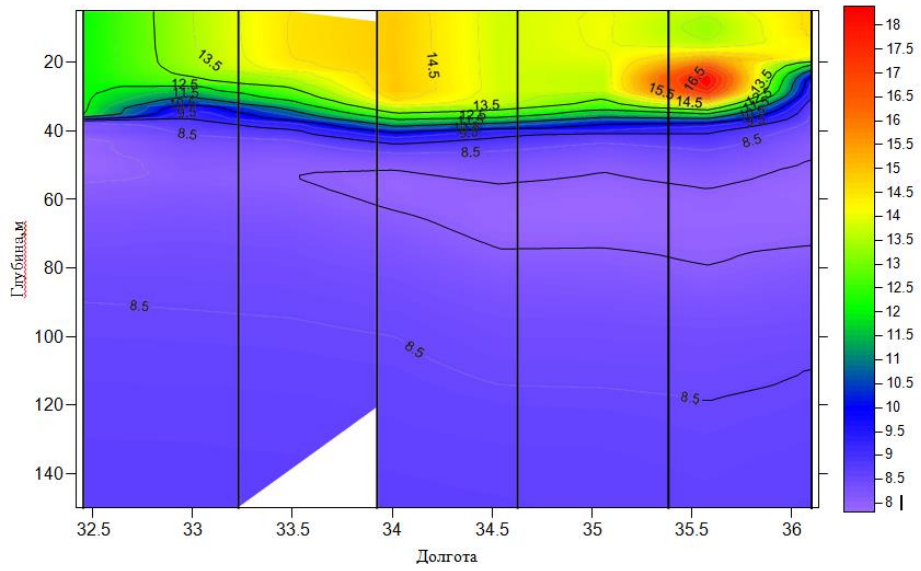
Р и с. 10. Распределение солености (‰) на первом разрезе в слое 5 – 150 м

Распределение кислорода на разрезе № 1 (рис. 11) характеризовалось заглублением кислородной зоны до глубины 120 м, что подтверждалось подводной видеосъемкой: вплоть до этой глубины наблюдались скопления гребневиков *Pleurobrachia pileus* (O.F. Müller, 1776), копепод *Calanus euxinus* (Hulsemann, 1991) и *Pseudocalanus elongatus* (Boeck, 1865) и рыб.

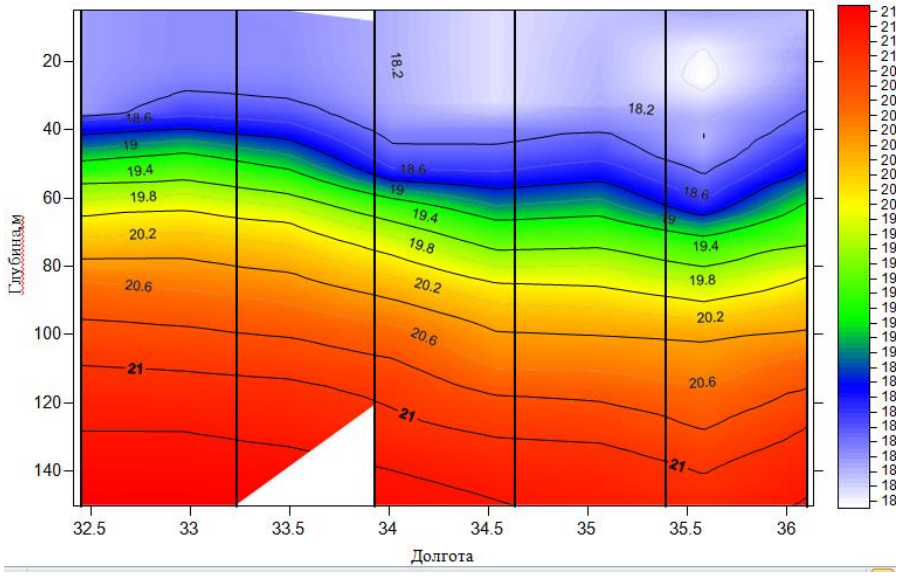


Р и с. 11. Распределение кислорода (мл*л$^{-1}$) на первом разрезе в слое 5 – 150 м

Распределение гидрологических параметров в центре моря (рис. 12, 13) характеризовалось относительно стабильной вертикальной структурой, характеризовавшейся наличием верхнего квазиоднородного слоя до глубины 30 м, под которым на глубине 60 – 70 м наблюдались воды ХПС. Ниже ХПС располагалась Промежуточная черноморская водная масса (ПЧВМ), которая занимала слой основного пикноклина [6]. Верхняя граница ПЧВМ располагалась в слое 120 – 150 м. Нижняя граница ПЧВМ залегала глубже рассматриваемого слоя. Термохалинные индексы этой водной массы изменяются в пределах, соответственно, температура – 8,6 – 9°С, солёность 21 – 22,3 ‰ [3].



Р и с. 12. Распределение температуры (°С) на втором (центральном) разрезе в слое 5 – 150 м



Р и с. 13. Распределение солености (‰) на центральном разрезе в слое 5 – 150 м

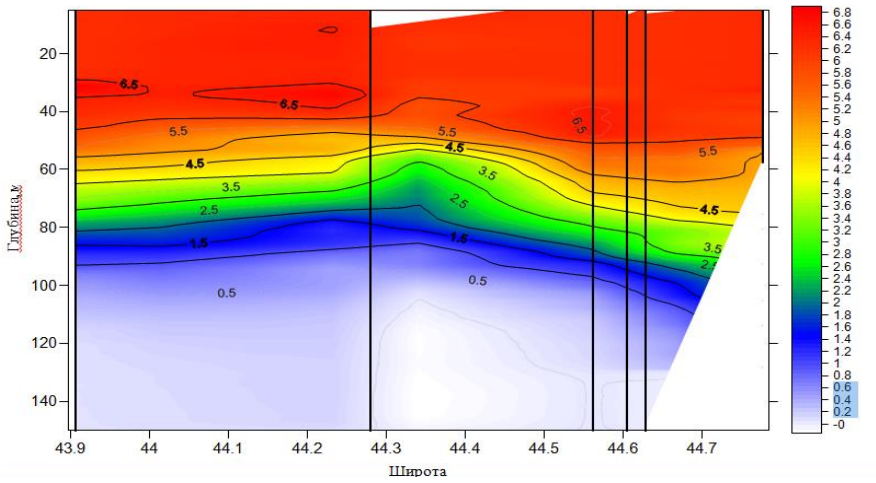
На центральном разрезе аналогичным образом распределялось изменение кислорода: в слое 60 – 80 м отмечена бескислородная зона (рис. 14). На границе редоксклина (глубина 65 – 75 м) в дневное время наблюдали сверхплотные скопления зоопланктона.

В отличие от зоны ОЧТ, где скопления планктона в дневное время отмечали в широком диапазоне глубин, в центральной части моря планктон располагался слоями из представителей определённых таксономических групп, располагавшихся над редоксклином (65 – 75 м.)

Верхнюю зону составляли плотные скопления гребневиков *P.pileus* (с численностью до 10 экз*м$^{-3}$). Ниже располагался слой копепод (до 10^5*экз*м$^{-3}$) и еще ниже располагался слой хетогнат *Sagitta setosa* (Mueller, 1847) (до 10^2*экз*м$^{-3}$).

В восточной части моря (рис. 15) изотермы имеют прогиб к северу. Это свидетельствуют о том, что холодные воды, располагающиеся на севере, под

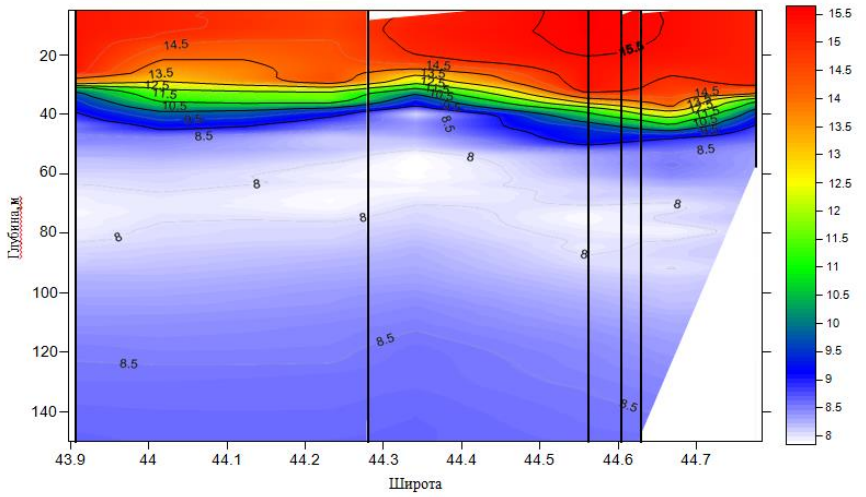
действием преобладающих в ноябре дрейфовых течений перемещаются вдоль побережья. Генеральное перемещение поверхностных вод в этой части Черного моря происходит по циклонической траектории. Аналогичные изменения наблюдались и в распределении солености.



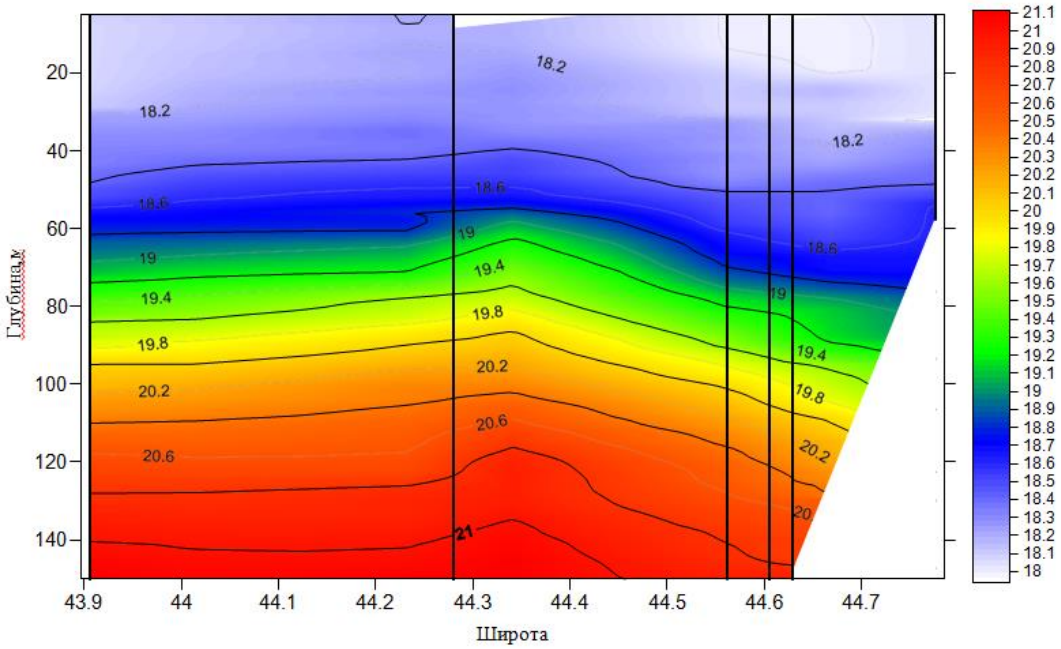
Р и с. 14. Распределение кислорода (мл*л$^{-1}$) на разрезе в центре моря в слое 5 – 150 м

Прибрежная зона (северная часть разреза) представляла собой зону трансформации вод речного стока с *Прибрежной водной массой.* Судя по семейству T,S-кривых, индексы этой водной массы находятся в диапазонах: температура – 14 – 15,5 ºС и соленость – 18 – 19 ‰ (рис. 16).

В зоне ОЧТ наблюдался изгиб изохалины 21 ‰ в сторону кромки шельфа до глубины 125 м. Распределение кислорода (рис. 17) характеризовалось тем, что изооксигена 1 мл*л$^{-1}$ опускалась из центра моря с 90 до 100 м в зоне действия ОЧТ у кромки шельфа. Это существенным образом сказалось на распределении гидробионтов в северной части разреза. Скопления планктона в зоне ОЧТ в дневное время располагались широким слоем до глубины 110 м.

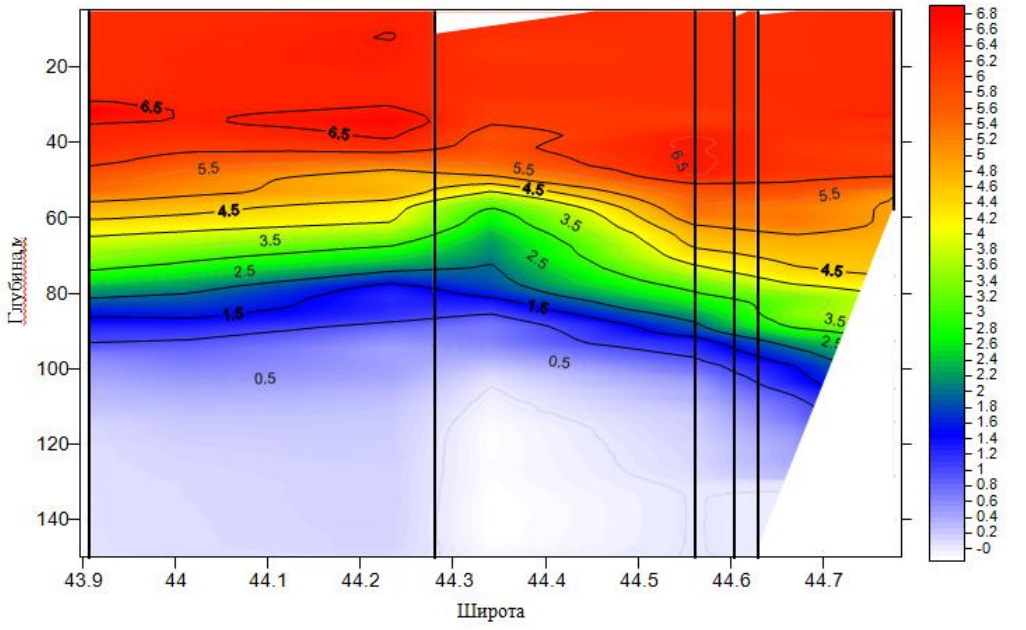


Р и с. 15. Распределение температуры (ºС) на третьем (восточном) разрезе в слое 5 – 150 м



Р и с. 16. Распределение солености (‰) на третьем (восточном) разрезе в слое 5 – 150 м

На многих станциях этого разреза в ночное время наблюдались плотные стаи черноморского шпрота *Spratus spratus* (Linnaeus, 1758), который формировал столь плотные скопления, что приемная трубка зонда Pump CTD часто забивалась рыбой. Скопления рыб в зоне ОЧТ в восточной части моря наблюдались с 35 м вплоть до границы кислородной зоны на горизонте 122 м. Было отмечено, что некоторая часть рыб заплывала в практически бескислородную зону для питания.



Р и с. 17. Распределение кислорода (мл/л) на третьем (восточном) разрезе в слое 5 – 150 м

Выводы.

1. Разработана программа «Hydro_IPTS» для обработки гидрологических данных, которая позволяет минимизировать усилия широкого круга пользователей по подготовке массивов данных, их обработке и оценке полученных результатов.

2. С помощью программы «Hydro_IPTS» можно оперативно выполнять контроль качества данных: на выявление дублей, попадание станций на сушу, соответствие времени выполнения последовательных станций и скорости судна, проверка горизонтов на инверсию, контроль временных параметров станций (дата, время), контроль параметров на допустимые пределы, контроль градиентов и больших инверсий.

3. База «Hydro_IPTS» может быть использована для исследований долгопериодных океанографических параметров Черного моря в условиях изменения климата.

4. Данные биоокеанографических исследований, проведенных в ходе 33-го рейса НИС *«Maria S. Merian» (Германия*) в центральной части Черного моря, обработаны с использованием программы «Hydro_IPTS» в виде одного массива данных.

5. Представлены результаты полевых прецизионно измерений распределений биохимических параметров среды, проведенных в ходе 33-го рейса НИС *«Maria S. Merian» (Германия).*

6. Представлены фаунистические исследования различных видов с видео регистрацией их поведения организмов в зоне редоксклина.

7. Показано, что в зоне ОЧТ как в западной, так и в восточной частях скопления планктона прослеживаются до глубины 120 м.

8. В восточной части моря обнаружены плотные скопления шпрота в диапазоне глубин 35 – 122 м, вплоть до слоя редоксклина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belokopytov V.N.* "Oceanographer": applied software for oceanographic surveys // Internat. Symp. on Information Technology in Oceanography: Abstr. 12 – 16 Oct. 1998. Goa, India. – [Goa], 1998. – P. 79.
2. *Belokopytov V.N.* Ocean Station Tool: Software package for processing and analysis of oceanographic data // Intern. Mar. Data and Information Conf.: Book of Abstr. May 31 – June 3, 2005, Brest, France. – Brest, 2005. – P. 67.
3. *Артамонов Ю.В., Белокопытов В.Н., Скрипалева Е.А.* Сезонная динамика крупномасштабных циклонических круговоротов Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 268–270.
4. *Особенности* сезонной изменчивости биооптических характеристик в крупномасштабных циклонических круговоротах Черного моря / Артамонов Ю.В., Белокопытов В.Н., Скрипалева Е.А. [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – Вып. 18. – С. 305–318.
5. *Белокопытов В.Н.* Термохалинная и гидролого-акустическая структура Черного моря: дис. … канд. геогр. наук. – Севастополь, 2004. – 143 с.
6. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М.* Опыт использования акустического доплеровского измерителя течений (ADCP) в условиях Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005. – № 12. – С. 457–476.