

ЦИФРОВОЙ АТЛАС
«ФИЗИЧЕСКАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ
ЧЕРНОГО МОРЯ»

А.М. Суворов,

В.Н. Еремеев, В.Н. Белокопытов,
А.Х. Халиулин, Е.А. Годин, А.В. Ингеров

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
99011, г. Севастополь, ул.Капитанская,2
e-mail: MIST@alpha.mhi.iuf.net

Дэвид Р. Палмер

NOAA/Atlantic Oceanographic
and Meteorological Laboratory
4301 Rickenbacker Causeway
Miami FL 33149
e-mail: palmer@aoml.noaa.gov

Цифровой атлас «Физическая океанография Черного моря» — один из результатов выполнения совместного проекта МГИ НАН Украины и NOAA/ AOLM (США). Атлас включает свыше 440 климатических карт, построенных на основе сформированной в рамках проекта базы данных, содержащей более 104 тысяч гидрологических станций, выполненных в Черном море. Атлас и база данных доступны широкому кругу пользователей на CD-ROM.

Введение. Мировой опыт свидетельствует, что наиболее успешные разработки информационных продуктов направленных на создание информационной основы для проведения океанологических, экологических и климатических исследований как в Мировом океане, так и в отдельных морях были выполнены в рамках международных проектов на основе тесного сотрудничества ученых различных стран.

С начала 90-х годов минувшего столетия МГИ НАН Украины активно участвует в реализации международных информационных проектов. За прошедшие годы в МГИ накоплен значительный опыт участия в таких исследованиях.

Примером успешного международного сотрудничества является проект «Спасение черноморских гидрологических данных, создание цифрового атласа и исследование сезонной и межгодовой изменчивости океанологических характеристик Черного моря» («Rescue of Black Sea Hydrological Data, Creation digital atlas and Studies of Sea-

sonal and Interannual Variability of Black Sea»). Этот проект был реализован МГИ совместно с Атлантической океанографической и метеорологической лабораторией NOAA (NOAA/AOLM, г. Майами, США) в 2001—2003 годах под эгидой американского фонда гражданских исследований (проект CRDF UG0-1270; научные руководители — доктор физ-мат. наук А.М. Суворов и доктор Дэвид Р. Палмер).

Проект имел следующие основные цели:

— сбор и перенесение на магнитные носители данных гидрологических наблюдений (с соответствующими метаданными), полученных в Черном море;

— формирование базы океанографических данных по Черному морю, включающей все доступные исторические гидрологические данные;

— создание нового цифрового атласа «Физическая океанография Черного моря»;

— исследование сезонной и межгодовой изменчивости океанологических характеристик Черного моря.

Информационная основа атласа. Информационной основой атласа послужила сформированная в ходе выполнения проекта база океанографических данных, включающая свыше 104 тысяч гидрологических станций, которые выполнены во все сезоны в Черном море с 1890 по 2001 год (рис.1) в 1249 рейсах научно-исследовательских судов России, Украины, США, Болгарии, Турции, Румынии, Франции и других стран.

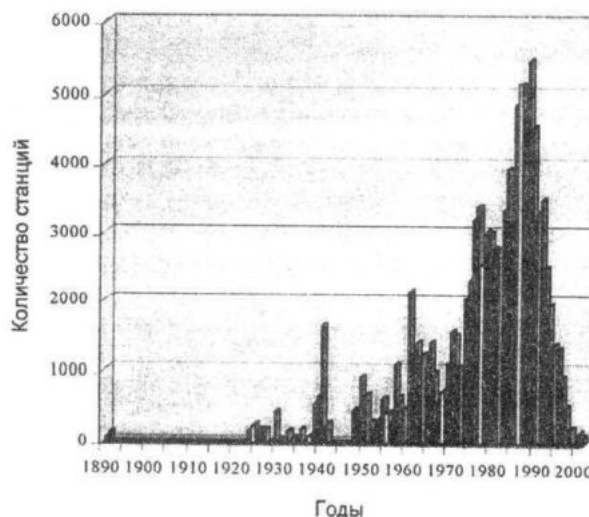


Рис. 1 — Распределение гидрологических станций по годам

Это значительно превышает количество гидрологических станций, входящих в такие известные базы океанографических данных как WOD-98, MEDAR/MEDATLAS II, NATO TU – Black Sea, подготовленные в рамках крупных международных проектов (рис. 2).

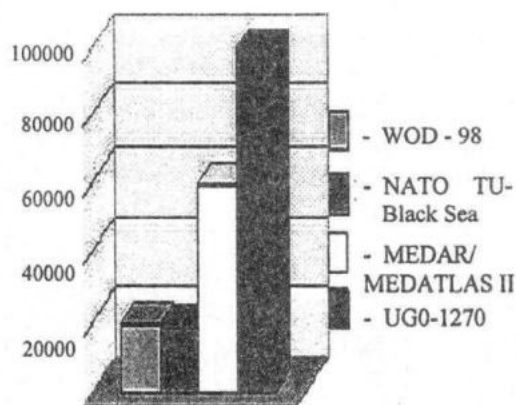


Рис. 2 – Количество гидрологических станций в базах данных различных проектов

Следует отметить, что база проекта содержит приблизительно 40 тысяч гидрологических станций, которые ранее не были включены ни в какие другие работы по восстановлению и обеспечению доступа к данным и не были представлены ни в одном из опубликованных наборов данных [1].

Все данные, включенные в базу океанографических данных проекта UG0-1270, были переведены в единый формат, разработанный в МГИ, и прошли программный контроль качества.

Эта же база данных послужила информационной основой при проведении в рамках проекта исследований сезонной и межгодовой изменчивости океанологических характеристик Черного моря [2].

Состав и структура цифрового атласа. Цифровой атлас «Физическая океанография Черного моря» объединяет 444 климатические карты. Атлас состоит из пяти основных разделов: температура, соленость, плотность, теплозапас и динамическая топография. Климатические карты атласа полностью отражают океанографические особенности Черного моря и позволяют уточнить особенности его термохалинной структуры. Содержание атласа представлено в таблице.

Таблица – Содержание цифрового атласа «Физическая океанография Черного моря»

Карты	Среднемесячные	Среднегодовые	
	Горизонт (м)		
Температура	0, 10, 20, 30,	400,	500,
	50, 75, 100,	600,	800,
	150, 200, 250,	1000,	1200,
	300	1500,	2000
Соленость	0, 10, 20, 30,	400,	500,
	50, 75, 100,	600,	800,
	150, 200, 250,	1000,	1200,
	300	1500,	2000
Плотность	0, 10, 20, 30,	400,	500,
	50, 75, 100,	600,	800,
	150, 200, 250,	1000,	1200,
	300	1500,	2000
Теплозапас	0-100	–	
Динамическая топография	0-300	–	

Основные отличия в сравнении с предыдущими работами состоят в следующем:

- источники обновления вод холодного промежуточного слоя (ХПС) в центрах западного и восточного круговоротов впервые выражены в климатических полях зимнего периода;

- локальный пространственный минимум температуры поверхностного слоя в центральной части Анатолийского побережья, вызванный устойчивым апвеллингом, существует с мая по октябрь, с наибольшим развитием в июне;

- сезонный ход динамической топографии и пространственного распределения температуры и солености в основном пикноклине заключается в существовании двух периодов: единой циклонической интенсивной циркуляции с января по май и существовании двух круговоротов с июня по декабрь. Внутри этих периодов происходит попеременное усиление восточного или западного звена циркуляции;

- Батумский антициклон прослеживается в течение всего года, кроме периода февраль-апрель. Севастопольский антициклон существует во все сезоны, наиболее четко выражен с июня по август. Синопский антициклон выражен в течение всего года, с мая по август он смещен к востоку;

- термохалинные поля в глубинных слоях сохраняют признаки общей циркуляции до дна. Четко выделяется придонный перемешанный слой толщиной 300 м;

– пространственное распределение теплозапаса в слое 0 – 100 м отражает сезонную эволюцию теплообмена в деятельном слое и внутригодовую адвекцию вод ХПС. Область минимальных значений теплосодержания в феврале – марте в западной части моря перемещается в южную и юго-восточную часть в мае – июне и далее занимает северо-восточную часть моря в осенний период.

На рисунке 3 приведены примеры карт из различных разделов цифрового атласа «Физическая океанография Черного моря».

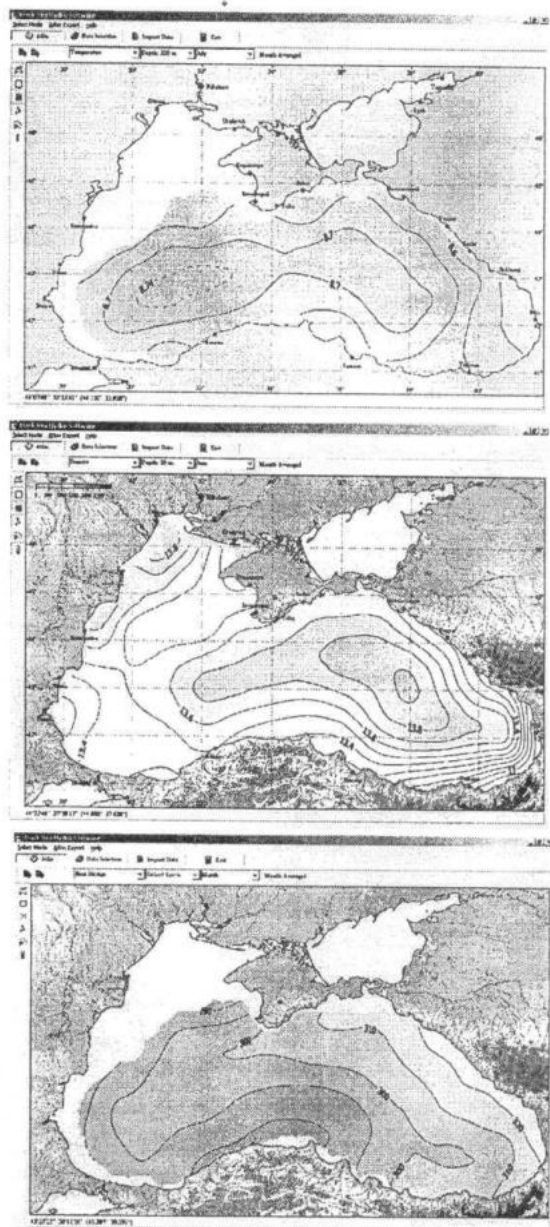


Рис. 3 – Примеры карт из различных разделов цифрового атласа «Физическая океанография Черного моря»

Методика построения карт. При создании карт цифрового атласа «Физическая океанография Черного моря» была применена схема объективного анализа аналогичная используемой С. Левитусом [3] для построения карт атласов Мирового океана. Она представляет собой итерационную схему последовательных приближений [4,5], адаптированную для условий Черного моря [6]. Расчет климатических среднемесячных и среднегодовых термохалинных полей производился в три этапа: контроль качества исходных данных, расчет массива первичных среднемесячных значений, объективная интерполяция и сглаживание. Контроль качества данных состоял из экспертного контроля, включающего стандартные океанографические тесты, и статистического контроля, при котором исключались из последующих расчетов данные, не попадающие в интервал 5σ в слое 0-50 м, 4σ в слое 50-100 м и 3σ в слое ниже 100 м. Первичные среднемесячные значения, служащие исходными данными для последующей интерполяции, рассчитывались как средние за каждый месяц каждого года из данных прошедших контроль качества в соответствующих квадратах. Для вертикальной интерполяции на выбранные горизонты применялась 4-точечная схема Рейнигера-Росса [7] (комбинация метода взвешенных парабол и линейной интерполяции). Интерполяция на регулярную сетку проводилась в три итерации с радиусами влияния 200, 64 и 32 мили. После каждой итерации интерполированные значения сглаживались двумя фильтрами: 9-точечным нелинейным медианным фильтром [8] и 5-точечным линейным фильтром [9]. Сочетание этих двух фильтров позволило отфильтровывать шумы с пространственными масштабами сетки, сохраняя крупномасштабные неоднородности. Результирующий массив состоит из 288 узлов с разрешением $20'$ по широте и $30'$ по долготе.

Программное обеспечение. В ходе реализации проекта в МГИ было разработано специальное программное обеспечение – BlackSeaHydro, которое является удобным и простым инструментом для работы с атласом и базой данных, отвечает современным требованиям и оптимизировано для решения задач проекта.

BlackSeaHydro может работать непосредственно с компакт диска или устанавливаться на компьютер в одном из двух режимов:

- минимальном - атлас и данные остаются на CD;
- полном - все содержимое диска переносится на компьютер пользователя.

Исходя из поставленных задач, программное обеспечение включает два основных блока - блок визуализации карт климатического атласа и блок управления данными, реализующий выборку, визуализацию, контроль качества, представление в требуемом формате и пополнение базы данных (последняя возможность работает только в режиме полной установки).

Блок визуализации атласа предоставляет средства выборки и отображения климатических полей температуры, солености, плотности, динамической топографии и теплозапаса. Кроме того, он позволяет настраивать внешний вид выбранной карты, экспортировать ее в один из форматов (*.wmf, *.emf, *.bmp, *.jpg) и сохранять в текстовом ASCII формате поле, соответствующее выбранной карте в численном виде как с заданным, так и с произвольным шагом сетки.

Программный блок управления данными обеспечивает выборку данных для заданного региона, временных интервалов, организаций (владельцев) и рейсов (рис.4 - 6). Режим предварительного просмотра результатов выборки позволяет корректировать условия запроса перед его выполнением.

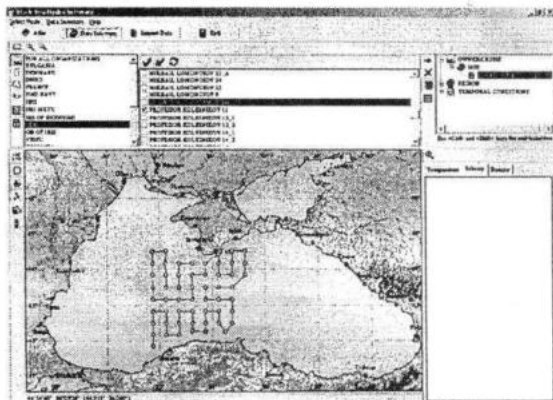


Рис. 4 - Пример выборки данных по рейсу

Пространственные ограничения могут быть определены как в виде прямоугольного региона, так и региона произвольной конфигурации, а так же по глубине (рис. 5).

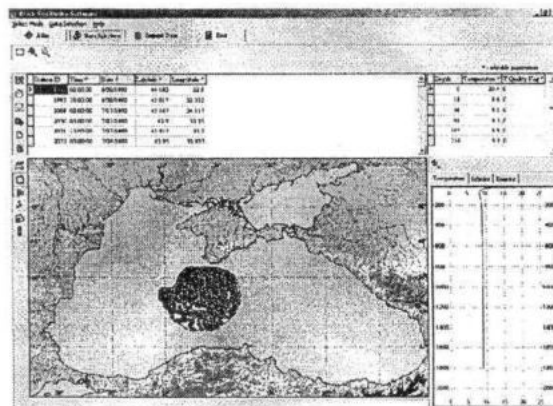


Рис. 5 - Пример выборки данных для определенного региона

Временные ограничения накладываются в виде временного интервала или диапазона месяцев и лет (рис. 6). При выборке по пространству и времени, результирующий набор данных может быть разделен по рейсам.

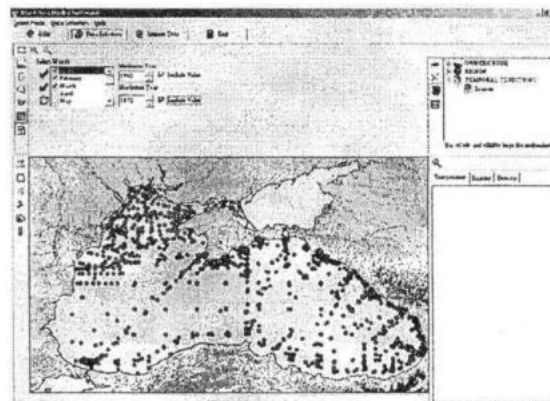


Рис. 6 - Пример выборки данных для определенного периода

Выбранные метаданные проходят контроль качества с возможностью корректировки их пространственных и временных параметров. Контроль качества данных проводится заранее. Значения параметров (температуры и солености), а так же флаги качества могут редактироваться пользователем. Флаги качества расставлялись с учетом попадания параметров в интервалы $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ и наличия/отсутствия инверсии плотности.

Далее данные могут экспортироваться в один из форматов:

- рейсовый формат (формат пакета «Гидролог»);
- формат BOD (формат данных в ранних версиях БОД МГИ);

- формат MEDAR/MEDATLAS II;
- формат OCL (Ocean Climate Laboratory NOAA);
- формат ODV Ocean Data View Spread-Sheet).

При этом может экспортироваться текущий рейс, весь набор данных, отсортированный по дате и времени и весь набор данных, разделенный на рейсы. Для режима полной установки предусмотрена возможность пополнения базы данных. Данные могут импортироваться из файлов перечисленных выше форматов.

Заключение. С созданным в ходе реализации проекта UG0-1270 цифровым атласом «Физическая океанография Черного моря» уже познакомились специалисты ряда ведущих мореведческих организаций Украины, США, Турции, Голландии, Франции, Болгарии, Греции, некоторых других стран и дали этой работе высокую оценку.

Подготовлен CD-ROM «Physical Oceanography of the Black Sea» (рис.7).

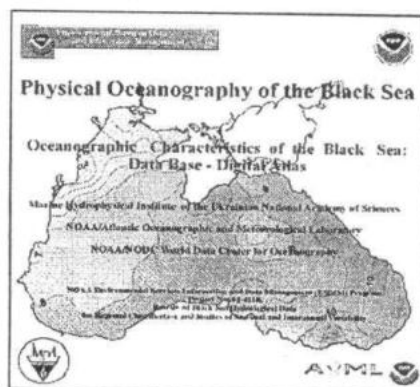


Рис. 7. – CD-ROM «Physical Oceanography of the Black Sea»

CD-ROM содержит цифровой атлас «Физическая океанография Черного моря», базу гидрологических данных, программное обеспечение и доступен для международного распространения.

Результаты, полученные в ходе выполнения проекта, будут стимулировать дальнейшие исследования гидрологической структуры Черного моря и ее влияния на химические, биологические и метеорологические процессы, а также реакции моря с ограниченным водообменом на изменчивость глобальной климатической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suvorov A.M., Palmer D.R., Khaliulin A.Kh., Godin E.A., Belokopytov V.N., Ingerov A.V. Creation the new database in the framework of "Rescue of Black Sea hydrological data for regional classification and studies of seasonal and interannual variability" project. // Abstracts international conference «Scientific and policy challenges towards an effective management of the marine environment in support of regional sustainable development Emphasis on the Black Sea and the Mediterranean regions». – Albena (Bulgaria), 2003. – P.381

2. Suvorov A.M, Khaliulin A.Kh., Godin E.A, Palmer David R. An evaluation of the influence of inter-annual variability on climate analyses // Abstracts second international conference «Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: similarities and differences of two interconnected basins». – Ankara (Turkey), 2002. – P.444-445

3. Levitus S. Climatological Atlas of the World Ocean. // NOAA Prof. Paper - Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. – 1982 - №.13 . - 173 pp.

4. Cressman, G.P. An operational objective analysis scheme. // Mon. Wea. Rev. - 1959. - № 87. - P. 329-340.

5. Barnes, S.L. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. // J. Appl. Meteor. - 1964. - № 3. - P. 396-409.

6. Белокопытов В.Н. Сезонная изменчивость термохалинной и гидролого-акустической структуры вод Черного моря. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: Сб. науч. трудов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2003. – Вып. 8. - С. 12-22.

7. Reiniger, R.F., and C.K. Ross. A method of interpolation with applications to oceanographic data. // Deep-Sea Res. - 1968. - № 2. - P. 185-193.

8. Beaton, A.E., and J.W. Tukey: The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. // Technometrics - 1974. - №16. - P. 147-185.

9. Shapiro, R. Smoothing, filtering and boundary effects. // Rev. of Geophys. and Space Phys. - 1970. - № 8. - P. 359-387.