

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОСТРОФИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ ЧЕРНОМОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПО БАЗАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.А. Ерошко, А.В. Ингеров, А.М. Суворов

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

Исследуется обеспеченность инструментальными измерениями центральной глубоководной части Черного моря, ограниченной 500-м изобатой. Временная протяженность исследуемого отрезка наблюдений составляет 13 лет - 1983÷1995 г.г. Анализируются пространственные и временные распределения всех 34300 гидрологических станций выполненные на этой акватории различными научно-исследовательскими судами в 481 рейсе.

Введение. Гидрологические съемки 1983÷1995 гг. в центральной части Черного моря выполнялись многими НИС в рамках различных научных программ для решения конкретных гидрофизических задач. Это – вопросы переноса тепла и соли, взаимодействия приводного слоя атмосферы и верхнего слоя моря, циркуляции вод и т.д. Результаты экспедиций изучались и соответствующим образом интерпретировались, а первичные наблюдения заносились в базы данных.

С развитием информационных технологий и по мере накопления экспериментальной информации появляется возможность проводить на ее основе самостоятельные исследования гидрофизических процессов в Черном море. Одной из актуальных задач является изучение системы черноморских течений (СЧТ).

В научной литературе этому вопросу уделено много внимания [1,2,3,4,5,6], благодаря чему на сегодняшний день известно общее строение СЧТ, с разной степенью подробности изучены ее отдельные элементы. Кратко их можно представить следующими:

Основное черноморское течение (ОЧТ) имеет циклонический характер и опоясывает всю глубоководную часть моря. Это сильное струйное течение, «прижатое» к свалу глубин. Оно имеет сложный динамический режим проявляющийся в меандрировании основной струи, возникновении вихрей и т.п. [7,12].

Северная ветвь ОЧТ направлена на запад, удаление стрежня от границы свала глубин составляет 10÷60 км (в отдельных пунктах – до 130 км), максимальная скорость в стрежне потока колеблется в пределах 0.18÷0.31 м/с, Глубина залегания стрежня от 0 до 65 м.

Южная ветвь ОЧТ направлена на восток, удаление стрежня от границы свала глубин составляет 5÷50 км (в отдельных пунктах до 95 км), максимальная скорость в стрежне потока колеблется в пределах 0.14÷0.29 м/с, глубина залегания стрежня изменяется от 0 до 50 м. Течение прослеживается до глубины 300÷400 м по изотахе 0.02 м/с.

Батумский антициклонический круговорот [10] расположен в юго-восточной части моря и занимает акваторию, площадь которой составляет примерно 22 тыс. км². По полю динамических высот прослеживается до максимальной расчетной глубины (500 м). Стрежень орбитального потока испытывает существенные перемещения по глубине. Осенью 1990 г он располагался в верхнем 15-и метровом слое моря, а летом 1992 г был заглублен на 60 м.

Динамические горизонталы антициклона имеет эллипсоидную форму. Большая ось располагается параллельно потоку ОЧТ, ее длина достигает 180 км. Длина малой оси составляет 90÷110 км. Максимум кольцевой скорости геострофического течения в стрежне антициклона составил для осени 1990 г – 0.286 м/с, а для лета 1992 г – 0.161 м/с.

Меандры присущи северной струе ОЧТ, возникают в результате гидродинамической неустойчивости потока ОЧТ, имеют циклонический и антициклонический характер. По оценкам, полученным в [12], имеют размеры 40÷80 км, фазовую скорость 0.2÷0.35 м/с.

Синоптические вихри открытого моря чаще всего образуются при смыкании струи меандра при воздействии внешних факторов и неустойчивости основного потока, затем продолжают автономное существование, имеют циклонический и антициклонический тип. Их характерные размеры 60÷120 км, максимальная скорость в стрежне вихрей колеблется в пределах 0.15÷0.35 м/с. Вихри прослеживаются до глубин 400÷500 м.

Прибрежные вихри [11] возникают в полосе между берегом и ОЧТ, имеют циклонический и антициклонический характер.

Приведенные выше численные характеристики основных элементов СЧТ получены по данным гидрологических съемок Comsblack 90, Comsblack 92. Все еще остается слабо изу-

ченной вертикальной структурой элементов СЧТ, сезонная, межгодовая и климатическая изменчивость.

Количественные характеристики этих процессов необходимы для разработки долгосрочных прогнозов погоды в черноморском регионе, оценки и прогнозирования экологической ситуации, для разработки концепции создаваемых рекреационных систем.

Цель работы и исходные данные. Целью настоящей работы является оценка возможности геострофических расчетов СЧТ по базам экспериментальных наблюдений. При этом подразумеваются все упомянутые выше элементы системы черноморских течений. Предполагается, что расчеты геострофических течений выполняются стандартным динамическим методом. Методика его использования подробно рассмотрена в [7].

Исходными данными служат наблюдения, выполненные различными НИС в глубоководной части Черного моря, ограниченной 500-метровой изобатой. Протяженность исследуемого отрезка наблюдений составляет 13 лет: 1983–1995 гг. Наблюдения со всеми необходимыми атрибутами записаны и хранятся в базах данных МГИ НАНУ [9].

Для каждого из перечисленных лет с помощью системы Paradox организуется выборка необходимой информации. При этом формируется два файла, которые затем используются в качестве входных для созданных обрабатывающих программ.

В первом файле Spisreis.txt содержится перечень рейсов НИС, выполненных в глубоководной части Черного моря. Принадлежность к ней регламентируется номерами квадратов, на которые поделена вся акватория Черного и Азовского морей. В этом файле содержится информация о минимальных и максимальных координатах по долготе и по широте, о числе выполненных станций.

Второй файл Stainfo.txt включает информацию о станциях каждого рейса: уникальный номер станции, дата и время выполнения, глубина зондирования, координаты, квадрат, в котором эта станция выполнена.

Методика обработки. Обработка исходных файлов выполняется по шагам. На первом шаге информация о координатах граничных точек каждого рейса программным путем преобразуется в бланкирующие файлы с расширением *.bln. Каждый из этих файлов записывается в свою заранее созданную директорию с именем, отражающим название НИС и год исследования. Такое же имя в про-

цессе работы программы автоматически получает файл *.bln.

На втором шаге с помощью стандартного пакета Surfer в упомянутых выше директориях строятся карты, на которых изображены: береговая линия моря, 500 м изобата и полигон каждого рейса. В названии карты содержится название НИС и год.

На третьем шаге файл Stainfo.txt программным путем разбивается на файлы, характеризующие каждый рейс исследуемого года. Эти файлы с расширением *.dat используются впоследствии для построения полной схемы рейса.

На четвертом шаге файл Stainfo.txt программным путем сортируется по месяцам. В результате станции всех рейсов данного года, приходящиеся на каждый месяц, собираются в файл с расширением *.dat и записываются в директорию с именами «1», «2», «3»,..., «12». Эти файлы используются для построения диаграмм распределения станций по сезонам исследуемого года: зима, весна, лето, осень.

На пятом шаге файлы, содержащиеся в директориях месяцев «1», «2», «3»,..., «12», сортируются по глубине. В результате станции с глубиной зондирования 500 м и более собираются в один файл с расширением *.dat, а остальные – в другой с таким же расширением. Для их различия в имя автоматически вводятся атрибуты глубины. Оба файла записываются в те же директории «1», «2», «3»,..., «12». Они используются для построения графиков, диаграмм и карт распределения глубоководных станций ($H_{\text{знд}} \geq 500$ м) внутри 500 м изобаты по месяцам и сезонам года.

На шестом шаге строятся карты: полигонов каждого рейса в очертаниях берегов и 500 м изобаты, карты пространственного распределения глубоководных станций ($Z_{\text{онд}} \geq 500$ м) по месяцам и сезонам года, диаграммы распределения станций внутри года по месяцам, по количеству и по глубине зондирования.

Перечисленный графический материал может быть включен в соответствующие справочные разделы экспериментальных баз данных, что облегчит их использование.

Обсуждение результатов. В базе экспериментальных наблюдений МГИ НАНУ за период с 1983 по 1995 гг. хранятся данные 481 рейса различных НИС в глубоководной части Черного моря. В этих рейсах выполнено 34300 станции, из которых 9081 имеют глубину зондирования ≥ 500 м, т.е. потенциально могут использоваться в геострофических рас-

четах системы черноморских течений обычным динамическим методом.

В таблице 1 показано распределение рейсов и станций по годам. В колонках 4 и 5 приведено распределение станций, имеющих глубину зондирования меньше и больше 500 м.

Таблица 1

Год	Рейсы	Станции	H<500 (м)	H≥500 (м)
1983	41	2634	1986	648
1984	34	2890	1864	1026
1985	57	3509	2899	610
1986	45	4308	3679	629
1987	42	4043	3348	695
1988	51	3972	3049	923
1989	46	2748	1917	831
1990	37	2008	1420	588
1991	29	2265	1692	573
1992	34	2164	1273	891
1993	23	1711	797	914
1994	20	1109	679	430
1995	22	939	616	323
Всего	481	34300	25219	9081

Из таблицы 1 видно, что не менее 320 гидрологических станций с глубиной зондирования 500 и более метров приходится на каждый исследуемый год. Для того чтобы увидеть, в какой степени эти станции можно использовать в геострофических расчетах, необходимо получить их пространственное распределение на акватории, ограниченной 500 м изобатой в течение каждого исследуемого года. Сортировка глубоководных станций (глубина зондирования 500 и более метров) по месяцам и последующий анализ карт пространственного распределения решает эту задачу, о чем упоминалось выше.

На рис.1 показано изменение по годам количества рейсов НИС и общего количества гидрологических станций. Прямые линии с индексом 1 на этом рисунке показывают тренды соответствующих рядов. Отчетливо видна тенденция снижения числа рейсов и гидрологических станций в глубоководной части моря за исследуемые годы (1983÷1995). Кривая а) имеет два максимума, приходящиеся на 1985 и 1988 гг., а кривая б) имеет широкий максимум, приходящийся на 1985÷1988 гг.

Внутригодовое распределение гидрологических станций для подавляющего боль-

шинства лет обнаруживает наличие широкого максимума, приходящегося на летние месяцы.

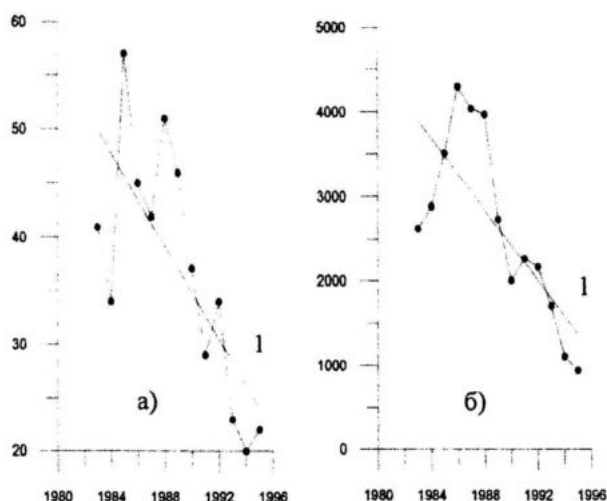


Рис.1 Изменение по годам: а) количества рейсов, б) количества гидрологических станций.

В таблице 2 приводится распределение станций по месяцам в зимний сезон каждого года. По результатам расчетов, показанным в таблице, построены пространственные распределения глубоководных станций с глубиной зондирования 500 и более метров для зимних месяцев каждого года. Рис. 2 а) иллюстрирует сказанное для зимы 1989 г. По пространственному распределению станций на рис.2 а) возможно выполнение расчетов геострофических течений для северной ветви ОЧТ, севастопольского и керченского меандров и синоптических вихрей, если они идентифицируются на этой акватории. Т.е. возможны геострофические расчеты для локальных элементов СЧТ в конкретных районах моря.

В таблице 3 приводится распределение станций по месяцам в весенний сезон каждого года. По результатам расчетов построены пространственные распределения глубоководных станций ($H_{зонд} \geq 500$ м) для весенних месяцев каждого года. Рис.2 б) иллюстрирует сказанное для весны 1989 г. По пространственному распределению станций на рис.2 б) возможны геострофические расчеты элементов СЧТ в западной половине моря, северо-западном участке и в регионе, прилегающем к Крыму с юга. Крупномасштабные элементы, такие как поток ОЧТ, могут быть рассчитаны и для восточной части моря.

В таблице 4 приводится распределение станций по месяцам в летний сезон каждого года. Рис 2 в) иллюстрирует сказанное для

Таблица 2 - Зима

Год	Декабрь			Январь			Февраль		
	Число станций			Число станций			Число станций		
	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500
1983	178	63	115	245	119	126	83	4	79
1984	46	2	44	242	9	233	90	0	90
1985	214	0	214	132	16	116	161	47	114
1986	259	41	218	277	70	207	247	73	174
1987	530	123	407	307	21	286	234	62	172
1988	126	0	126	348	112	236	267	37	230
1989	283	90	193	150	103	47	126	35	91
1990	153	28	125	25	3	22	113	25	88
1991	43	28	15	48	0	48	186	1	185
1992	17	6	11	86	6	80	45	0	45
1993	35	8	27	43	9	34	201	150	51
1994	155	87	68	30	21	9	12	1	11
1995	2	0	2	10	4	6	25	0	25

Таблица 3 - Весна

Год	Март			Апрель			Май		
	Число станций			Число станций			Число станций		
	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500
1983	341	107	234	125	31	94	405	74	331
1984	154	41	113	271	147	124	224	15	209
1985	282	66	216	180	32	148	304	31	273
1986	375	62	313	247	32	215	535	157	378
1987	152	0	152	135	2	133	331	50	281
1988	250	134	116	542	184	358	516	92	424
1989	149	40	109	353	213	140	224	90	134
1990	92	0	92	116	30	86	213	29	184
1991	172	0	172	97	0	97	66	0	66
1992	159	73	86	72	10	62	135	77	58
1993	175	114	61	456	241	215	120	47	73
1994	10	2	8	129	33	96	169	88	81
1995	308	138	170	120	80	40	16	4	12

Таблица 4 - Лето

Год	Июнь			Июль			Август		
	Число станций			Число станций			Число станций		
	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500
1983	287	26	261	292	85	207	314	86	228
1984	371	122	249	482	150	332	423	185	238
1985	597	72	525	426	19	407	215	9	206
1986	514	54	460	462	22	440	423	46	377
1987	415	55	360	476	102	374	473	61	412
1988	552	61	491	382	58	324	424	140	284
1989	270	118	152	391	38	353	278	11	267
1990	397	115	282	178	54	124	159	5	154
1991	385	115	270	303	53	250	237	38	199
1992	208	8	200	728	475	253	181	131	50
1993	50	17	33	86	63	23	168	91	77
1994	48	1	47	58	0	58	88	11	77
1995	46	0	42	164	27	137	108	31	77

Таблица 5 - Осень

Год	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь		
	Число станций			Число станций			Число станций		
	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500	Общее	Н≥500	Н<500
1983	130	6	124	100	0	100	134	47	87
1984	269	121	148	124	124	0	194	110	84
1985	340	111	229	342	132	210	316	75	241
1986	246	0	246	397	68	329	326	4	322
1987	272	0	272	369	121	248	349	98	251
1988	197	67	130	180	2	178	188	36	152
1989	167	23	144	115	16	99	242	54	188
1990	189	91	98	311	200	111	62	8	54
1991	381	258	123	160	43	117	187	37	150
1992	141	52	89	329	19	310	63	34	29
1993	61	43	18	161	101	60	155	130	25
1994	175	119	56	232	67	165	3	0	3
1995	70	31	39	39	0	39	35	8	27

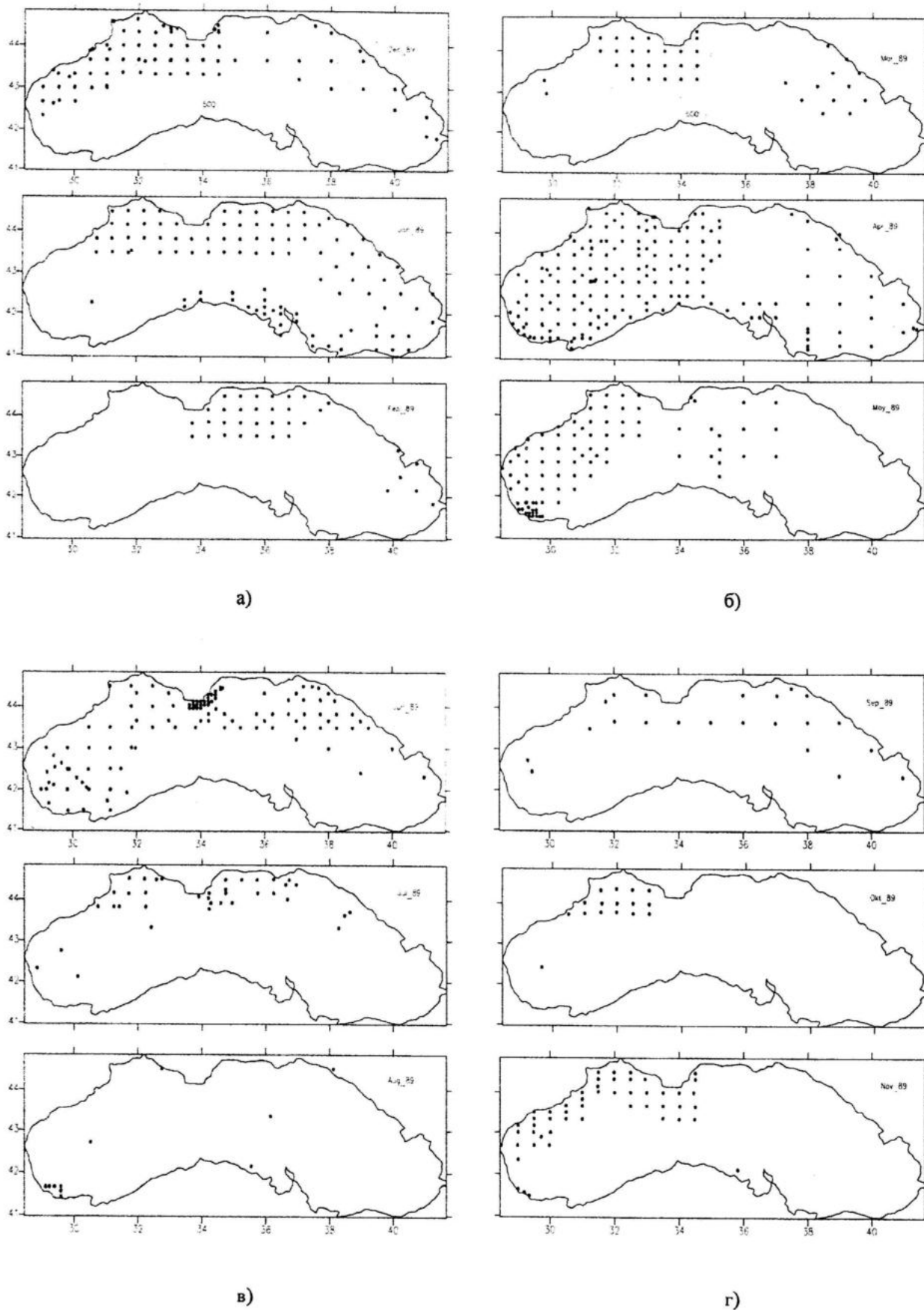


Рис. 2 - Пространственное распределение глубоководных гидрологических станций, выполненных различными НИС в 1989 году: а) в зимние месяцы; б) в весенние месяцы; в) в летние месяцы; г) в осенние месяцы

лета 1989г. Пространственное распределение глубоководных станций летом 1989г позволяет выполнить геострофические расчеты только северной струи ОЧТ.

В таблице 5 приводится распределение станций по месяцам в осенний сезон каждого года. На рис.2 г), в качестве примера, показано распределение глубоководных станций внутри 500м изобаты осенью 1989г. В данном случае возможен геострофический расчет фрагментов ОЧТ в северо-западной части моря. Рис.2 а), б), в), г) наглядно иллюстрируют степень и равномерность покрытия станциями центральной акватории моря, ограниченной 500м изобатой, внутри которой и расположены основные элементы системы черноморских течений.

Выводы. 1. Обеспеченность инструментальными измерениями центральной глубоководной части Черного моря, ограниченной 500-м изобатой недостаточна для равномерного покрытия станциями месяцев и сезонов рассмотренных в работе лет.

2. Анализ пространственных и временных распределений всех 34300 гидрологических станций выполненных на этой акватории различными НИС, позволяет сформировать данные и выполнить геострофические расчеты различных элементов СЧТ в локальных районах Черного моря.

3. В отдельные сезоны некоторых лет (например, лето 1992 г) имеется полное покрытие глубоководной части моря гидрологическими станциями, что позволяет выполнить расчет динамическим методом практически всех элементов СЧТ.

Результаты работы могут успешно использоваться при обмене первичной информацией с другими учреждениями, поскольку четко обрисовывают картину, что есть и чего нет в базах данных МГИ НАНУ по глубоководной части Черного моря на сегодняшний день.

Созданное программно-математическое обеспечение в перспективе может использоваться для анализа возможностей геострофических расчетов, использующих иные методы, отличные от динамического, поскольку информационные файлы, полученные на разных шагах обработки, заносятся и хранятся в созданной ранее вспомогательной базе данных, а перестройка обрабатывающих программ осуществляется по ключам, хранящимся во внешних файлах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов Д.М. Циркуляция и структура вод Черного моря. – М.: Наука, 1968 – 135 с.
2. Новицкий В.П. Вертикальное строение водной толщи и общие черты циркуляции вод Черного моря. – Труды АзчерНИРО, 1964, вып.23, С.3 – 22.
3. Саркисян А.С. Численная модель и расчет течения Черного моря. – Метеорология и гидрология, 1974, №3, С.70 – 76.
4. Саркисян А.С., Богуславский С.Г. Анализ расчета течений Черного моря. – Изв. АН СССР, ФАО, 1976, т.12, №3, С.337 – 340.
5. Бибик В.А. Особенности динамики вод юго-восточной части Черного моря и распределение океанографических элементов. – Труды АзчерНИРО, 1964, вып.23, С. 23 – 31.
6. Отчет о работах в 21 – м рейсе НИС «Профессор Колесников». // Научные фонды МГИ АНУССР. – Севастополь. –1989. –160 с.
7. Ерошко А.А. Об одном способе расчета горизонтальной и вертикальной структуры геострофических течений в Черном море по экспериментальным базам данных. // Системы контроля окружающей среды 2000. – Севастополь, 2001. С. 212 – 222.
8. Ерошко А.А. Вспомогательная база данных для гидродинамических расчетов и численных экспериментов в глубоководной части Черного моря. // Системы контроля окружающей среды 2001. – Севастополь, 2002. С. 212 – 222.
9. Суворов А.М., Халиулин А.Х., Ингерев А.В. Программное обеспечение базы океанологических данных МГИ НАНУ. // Системы контроля окружающей среды 2001. – Севастополь, 2002. С. 181 – 184.
10. Ерошко А.А. Батумский Антициклонический круговорот в летне-осенний сезон: пространственная структура, изменчивость. // Системы контроля окружающей среды 2001. – Севастополь, 2002. С. 212 – 222.
11. Овчинников И.М., Титов В.Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря. Докл. АН СССР. 1990. Т.314, № 5, С. 1236 – 1239.
12. Титов В.Б. Экспериментальные данные о меандрировании Основного черноморского течения. // Океанология. –1993. –33, №4. С.521 – 526.