

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОПТИМАЛЬНЫХ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Е.А.Агафонов, А.С.Кукушкин,
Ю.А.Прохоренко
Морской гидрофизический
институт НАН Украины г.
Севастополь, ул. Капитанская, 2.

Показатель ослабления света (ПОС, прозрачность, $\epsilon \text{ м}^{-1}$) является первичной гидрооптической характеристикой, исследование вертикального и горизонтального распределений которой представляет большой интерес, поскольку она весьма чувствительна к изменению физических, химических и биологических параметров морской воды. Взаимодействие этих параметров приводит к образованию характерного для данного сезона распределения суммарного взвешенного вещества (как органического, так и неорганического происхождения), что создает вполне определенную картину распределения оптических свойств в морской воде.

В работе впервые рассматриваются и обобщаются данные по исследованию прозрачности вод Черного моря с помощью предложенных оптимальных оптических параметров, которые были получены на различных судах МГИ НАНУ в течение 1978 — 1986 гг. Весьма важным является то обстоятельство, что все данные были получены с помощью однотипной аппаратуры, разработанной в отделе оптики МГИ, так как показания прозрачности зависят от используемой оптической схемы, методик измерений и градуировки, а также индивидуальных особенностей операторов. Поэтому при анализе результатов измерений нами рассматривались лишь показания однотипных приборов, полученные в одних и тех же районах Черного

моря, что позволило корректно сопоставлять результаты исследований различных лет.

На основании тщательного анализа всего массива вертикальных профилей ПОС в глубоководной части Черного моря выделены шесть параметров, которые полностью отражают вертикальное распределение прозрачности до максимальных глубин погружения приборов (300 м) и которые несомненно связаны с динамическими, гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими процессами в Черном море:

1. Отсчет ПОС на глубине 10 м — $\epsilon_0 \text{ м}^{-1}$. Показания прибора обуславливаются, в основном, концентрацией фитопланктона, а влияние на них метеорологических факторов и корпуса судна значительно снижено.

2. Среднее (интегральное) значение показателя ослабления в слое от поверхности до глубины залегания минимальных значений ПОС — $\epsilon_{\text{ср}} \text{ м}^{-1}$. Вычисляется как среднее значение ПОС на глубинах кратных 10 м. Параметр позволяет оценить количество взвешенного вещества в кислородной зоне и характеризует замутненность вод преимущественно взвесью биологического происхождения.

3. Отсчет минимальных значений ПОС — $\epsilon_{\text{мин}} \text{ м}^{-1}$. Может служить для оценки географической и временной изменчивости прозрачности в холодном промежуточном слое (ХПС).

4. Отсчет максимальных значений ПОС в глубинном слое мутности (ГСМ) — $\epsilon_{\text{макс}} \text{ м}^{-1}$. Это значение ПОС в зоне сосуществования кислорода и сероводорода тесно связано с гидрохимическими процессами, протекающими на границе двух зон характерных только для Черного моря.

5. Глубина залегания минимальных значений ПОС — $Z \epsilon_{\text{мин}}$.

6. Глубина залегания максимальных значений ПОС в ГСМ — $Z \epsilon_{\text{макс}}$.

Эти параметры могут быть использованы для классификации вихревых образований в Черном море, определения их местоположения и сезонной изменчивости.

В таблице 1 приведен перечень рейсов, в которых производились измерения прозрачности с указанием времени их проведения.

На основе материала, накопленного в этих рейсах, были определены статистические оценки оптимальных гидрооптических параметров отдельно для каждого рейса НИС, которые представлены в таблице 2, где MO — математическое ожидание, CKO — среднеквадратическое отклонение, v — коэффициент вариации, N — число станций, подвергшихся обработке.

Совокупность всех полученных данных была разделена на две части, наиболее обеспеченные для годового цикла: май — август и октябрь — декабрь, которые условно названы нами середина года (СГ) и конец года (КГ), что соответствует весенне-летнему и осенне-зимнему гидрологическим сезонам соответственно. Сведения о статистических оценках в выделенные сезоны представлены в таблице 3, где аббревиатура аналогична обозначениям таблицы 2.

Для наглядного изображения рассчитанных оценок построены профили прозрачности, выраженные через оптимальные оптические параметры, названные нами формализованными профилями. На этих профилях характерные величины параметров и горизонты их залегания находятся в поле зрения исследователя. При традиционном построении осредненных профилей, где суммируются отсчеты ПОС через равные промежутки глубин, отдельные черты вертикальной структуры прозрачности не проявляются в результате большой изменчивости их горизонтов залегания, (рис.1).

Для построения пространственного распределения параметров вся акватория Черного моря

была разбита на 51 стандартный прямоугольник, по методике принятой в гидрографии, со сторонами $40'$ по широте 1° по долготе, который приближается к квадрату со стороной 40 миль. Наблюдения, выполненные в каждом квадрате, осреднялись за исследуемый промежуток времени и относились к его центру.

Подсчитанные среднесезонные значения всех оптических параметров для глубоководной части моря служили уровнем, относительно которого определялась принадлежность отдельного квадрата к зоне подъема или опускания. Результаты сопоставлений отображены в виде букв П (подъем) и О (опускание), (рис.2). Эти подъемы и опускания глубин залегания ПОС, в основном, обусловлены вертикальными движениями водных масс.

Как видно из рисунка, вдоль Кавказского берега и части Анатолийского побережья отмечается опускание горизонтов, что, возможно, связано с конвергенцией периферии Основного черноморского течения (ОЧТ) и циклонических круговоротов в восточной части моря, а также постоянно существующим антициклоническим круговоротом в юго-восточном районе моря.

Отмеченные подъемы значений горизонтов между $35 - 38^\circ$ в.д. в восточной части моря и между $30 - 32^\circ$ в.д. на западе определяются, по видимому, циклоническими круговоротами, которые фиксируются на среднегодовой схеме квазистационарных поверхностных течений [1]. Опускание значений горизонтов в районе пролива Босфор хорошо согласуется с результатами исследований источников образования глубинных слоев мутности вдоль материкового слоя [2].

Опускание значений горизонтов между 33 и 36° в.д. и $42 - 44^\circ$ с.ш., лежащие между меридианами мысов Керемпе и Бафра, отмечались на среднесезонном распределении амплитуды пограничного мутного слоя для летнего и зимнего периодов

Таблица 1

Время проведения гидрооптических съемок в Черном море

№	Название судна, рейса	Период наблюдения
1	35 рейс НИС М.Л.	25.07 – 21.08; 1978 г.
2	27 рейс НИС А.В.	25.05 – 06.06; 1983 г.
3	29 рейс НИС А.В.	15.05 – 15.07; 1984 г.
4	44 рейс НИС М.Л.	9.06 – 9.07; 1985 г.
5	34 рейс НИС А.В.	16.06 – 10.07; 1986 г.
6	23 рейс НИС А.В.	5.11 – 4.12; 1980 г.
7	28 рейс НИС А.В.	29.11 – 14.12; 1983 г.
8	43 рейс НИС М.Л.	26.10 – 17.11; 1984 г.
9	44 рейс НИС М.Л.	12.10 – 29.10; 1985 г.
10	14 рейс НИС П.К.	22.11 – 12.12; 1986 г.

Таблица 2

Статистические оценки оптимальных оптических параметров для отдельных рейсов

Параметры		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varepsilon_0 \cdot 10^3$	МО	100	300	233	179	300	190	158	154	158	105
	СКО	38	95	68	84	90	27	72	50	48	29
	v	38	32	29	47	30	14	44	32	32	28
	N	56	35	76	71	39	49	42	40	34	35
$\varepsilon_{cp} \cdot 10^3$	МО	90	214	199	133	150	150	60	65	144	64
	СКО	18	46	22	39	35	40	15	23	16	24
	v	19	21	11	29	23	10	38	24	14	23
	N	55	35	76	63	37	43	41	34	30	35
$\varepsilon_{max} \cdot 10^3$	МО	123	160	171	134	76	158	40	115	129	52
	СКО	74	70	47	86	25	45	85	65	36	32
	v	60	44	27	64	33	24	61	56	28	61
	N	54	34	73	64	40	43	37	37	34	28
$\varepsilon_{min} \cdot 10^3$	МО	52	80	106	47	45	90	60	64	85	24
	СКО	10	13	14	29	17	13	23	17	12	14
	v	19	16	13	61	38	14	38	26	14	58
	N	57	35	76	68	37	43	37	37	34	35
$Z\varepsilon_{max}(M)$	МО	130	121	133	121	116	135	130	111	113	121
	СКО	23	28	23	26	23	19	26	23	22	18
	v	18	23	18	21	20	14	20	21	20	15
	N	55	34	73	64	37	43	37	37	34	35
$Z\varepsilon_{min}(M)$	МО	109	100	113	99	100	113	123	91	89	106
	СКО	25	24	24	29	23	19	15	22	20	17
	v	23	24	22	29	23	17	12	24	22	16
	N	57	34	76	63	40	43	42	37	34	36

Таблица

Статистические оценки оптимальных оптических параметров для различных сезонов

Параметры		МО	СКО	ν	N	Диапазон изменен. ϵ
$\epsilon_0 \cdot 10^3$	СГ	211.8	102.7	0.48	245	40 – 640
	КГ	154	54.7	0.35	175	40 – 650
	ОГ	188	90.6	0.48	420	40 – 650
$\epsilon_{cp} \cdot 10^3$	СГ	155	56.6	0.36	236	60 – 300
	КГ	109.6	45.1	0.41	171	70 – 230
	ОГ	136	57.3	0.42	404	60 – 300
$\epsilon_{max} \cdot 10^3$	СГ	137.5	72.4	0.54	233	30 – 440
	КГ	121.7	65.2	0.53	163	20 – 230
	ОГ	131	71	0.54	397	20 – 440
$\epsilon_{min} \cdot 10^3$	СГ	66.1	29.9	0.45	238	10 – 130
	КГ	66.6	31.7	0.47	172	10 – 130
	ОГ	66.6	30.8	0.46	412	10 – 130
$Z\epsilon_{max}(M)$	СГ	124.4	25.4	0.2	237	80 – 210
	КГ	124.3	22.1	0.18	172	70 – 180
	ОГ	124.4	24.1	0.19	409	70 – 210
$Z\epsilon_{min}(M)$	СГ	104.3	26.1	0.25	244	50 – 190
	КГ	106.4	24	0.22	177	50 – 160
	ОГ	105.6	25.1	0.24	418	50 – 190

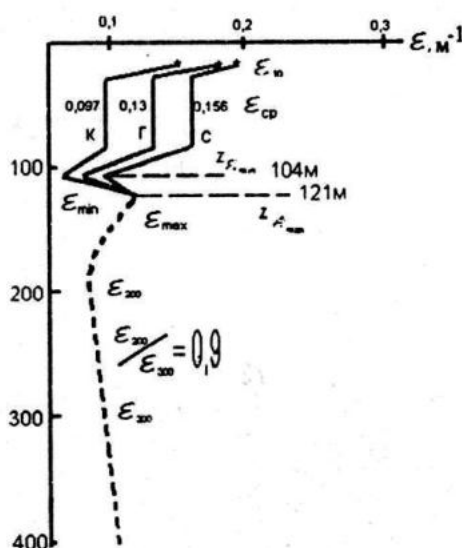


Рис. 1. Формализованные профили оптимальных оптических параметров, отражающих вертикальное распределение прозрачности в середине года (а), конце года (б) и общегодовые (в).

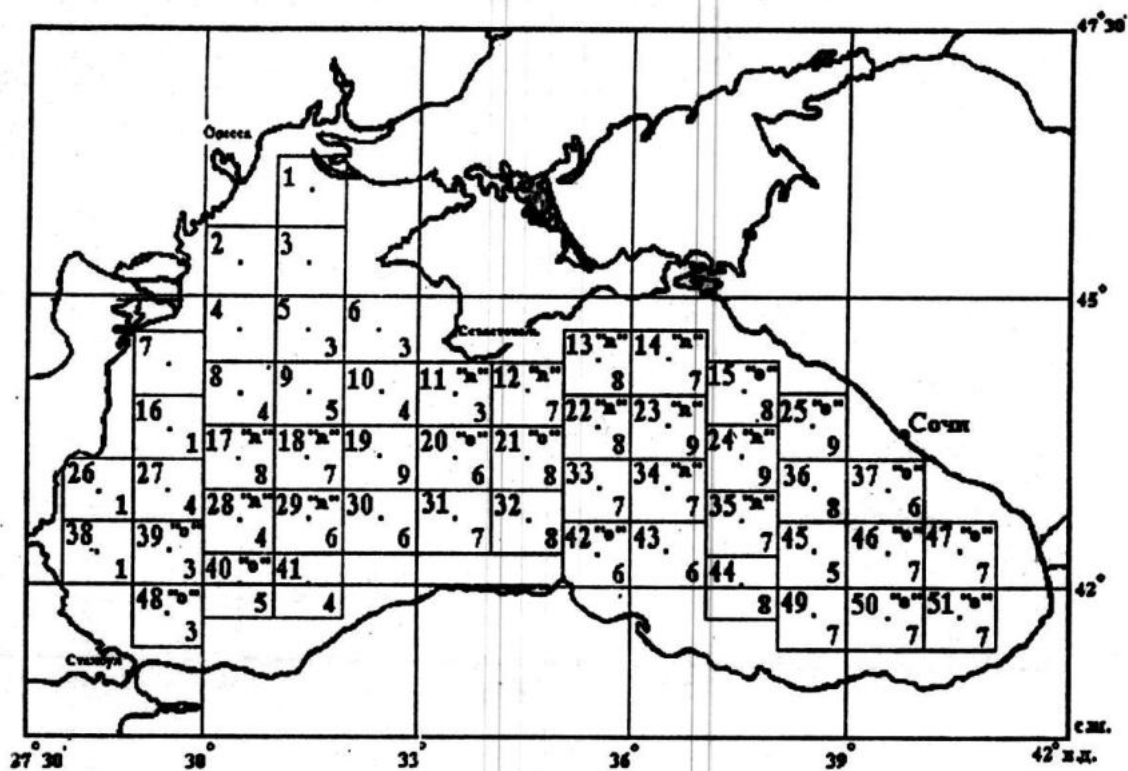


Рис. 2. Расположение стандартных квадратов (левый верхний угол), количество станций, выполненных в квадрате (правый нижний угол). Зоны подъема (Π) и опускания (O).

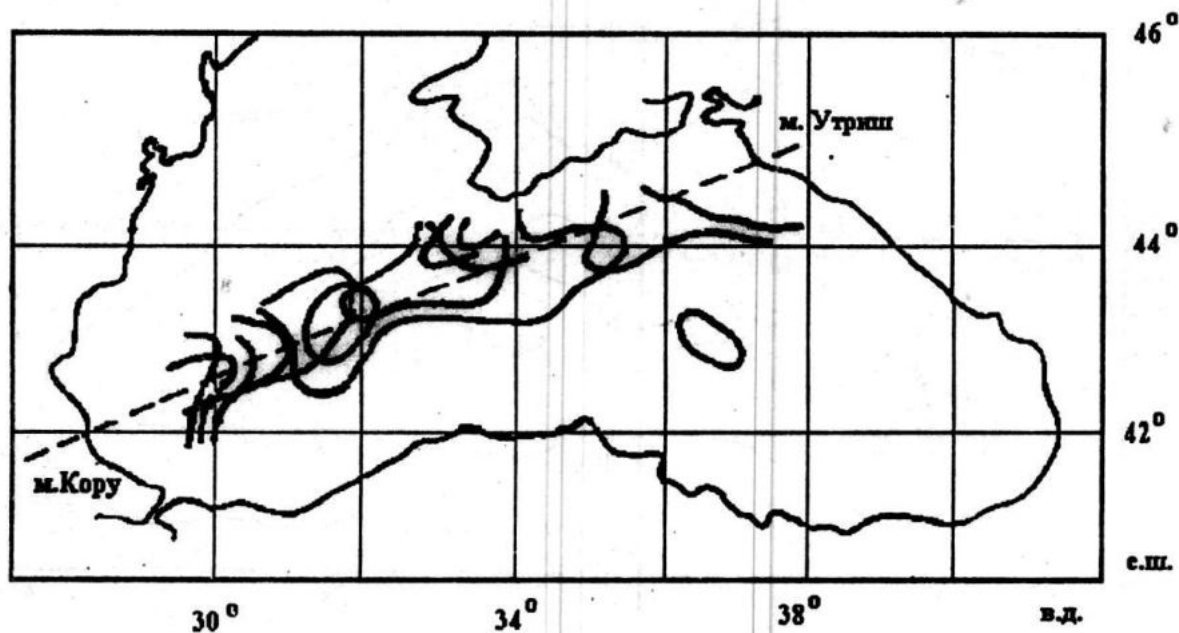


Рис. 3. Положение изолиний минимальных значений оптических параметров (ϵ_0 , ϵ_{sp} , ϵ_{min} , ϵ_{max}) в Черном море по данным многолетних наблюдений.

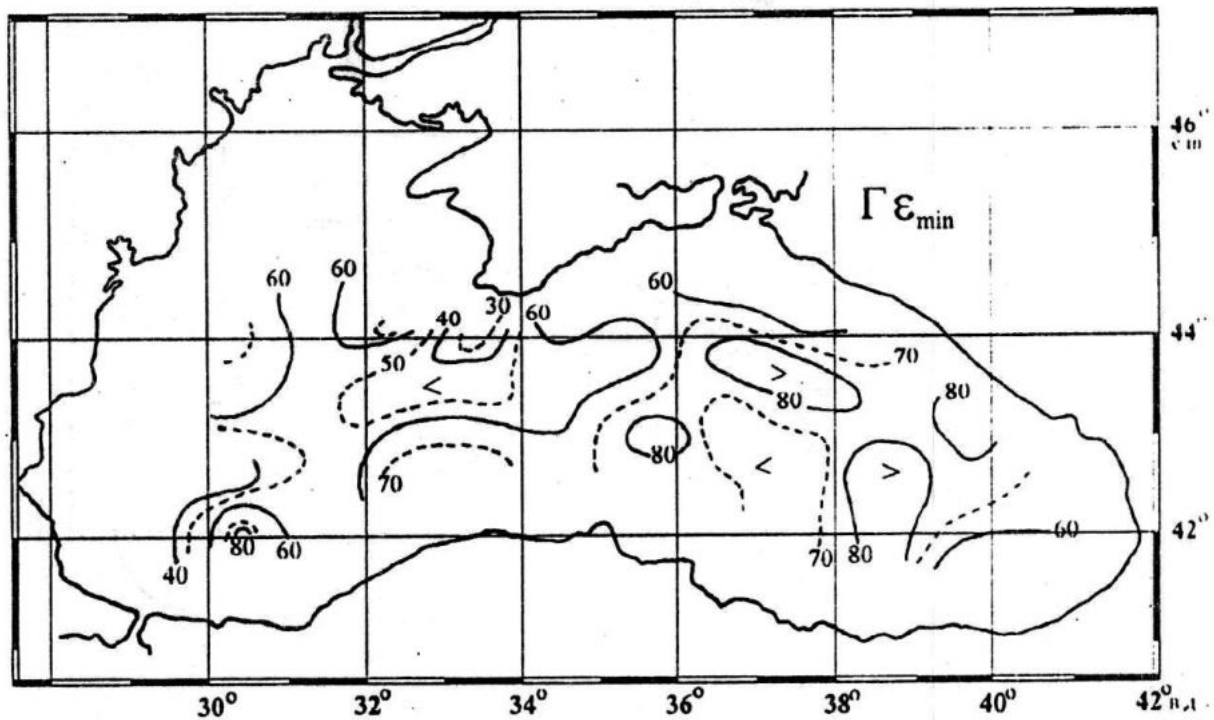
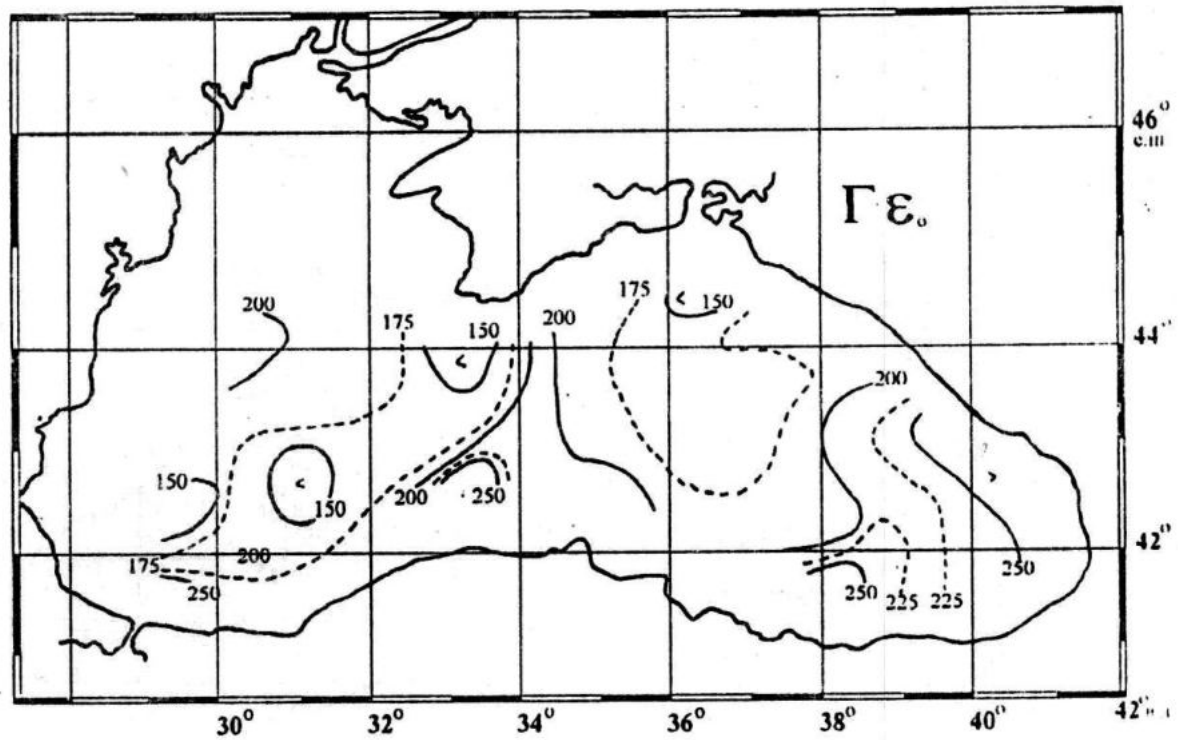


Рис. 4. Среднегодовое распределение годовых оптимальных гидрооптических параметров

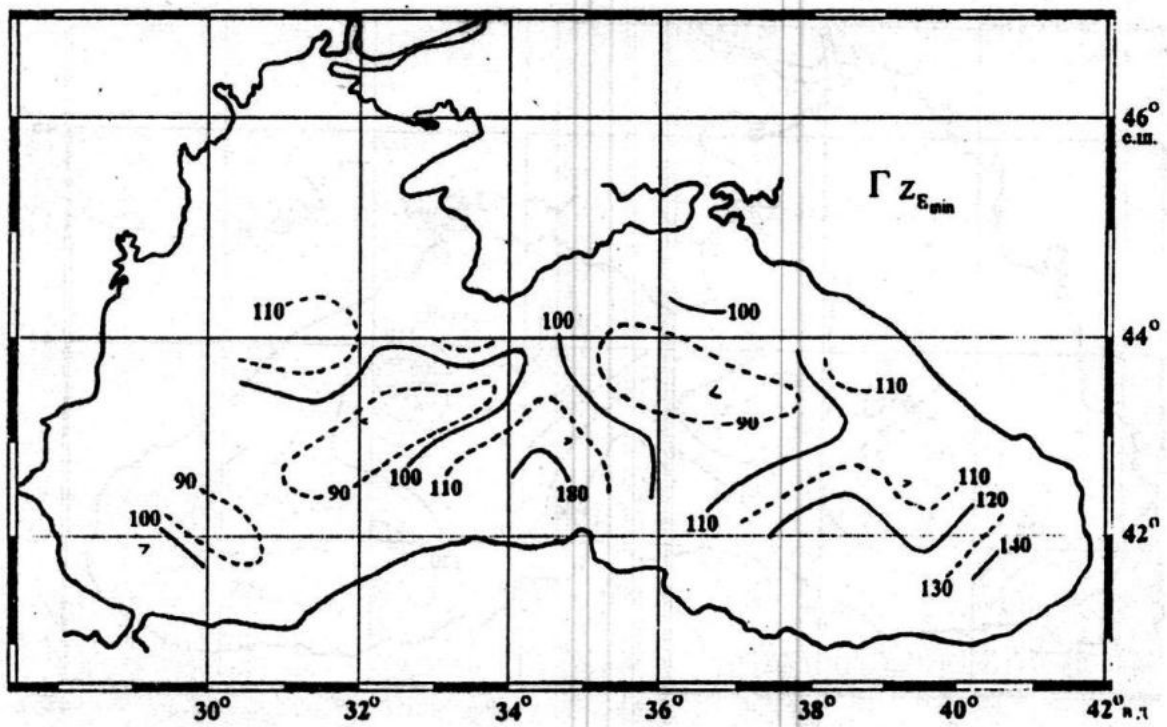
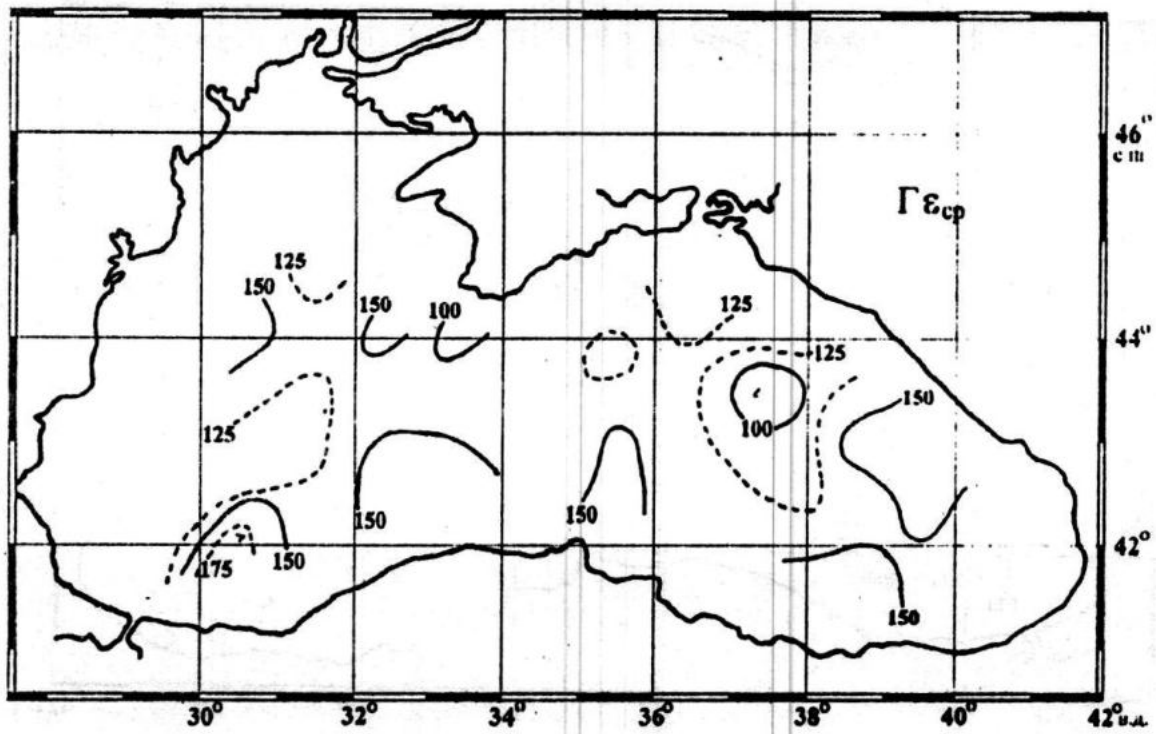


Рис. 4. Продолжение

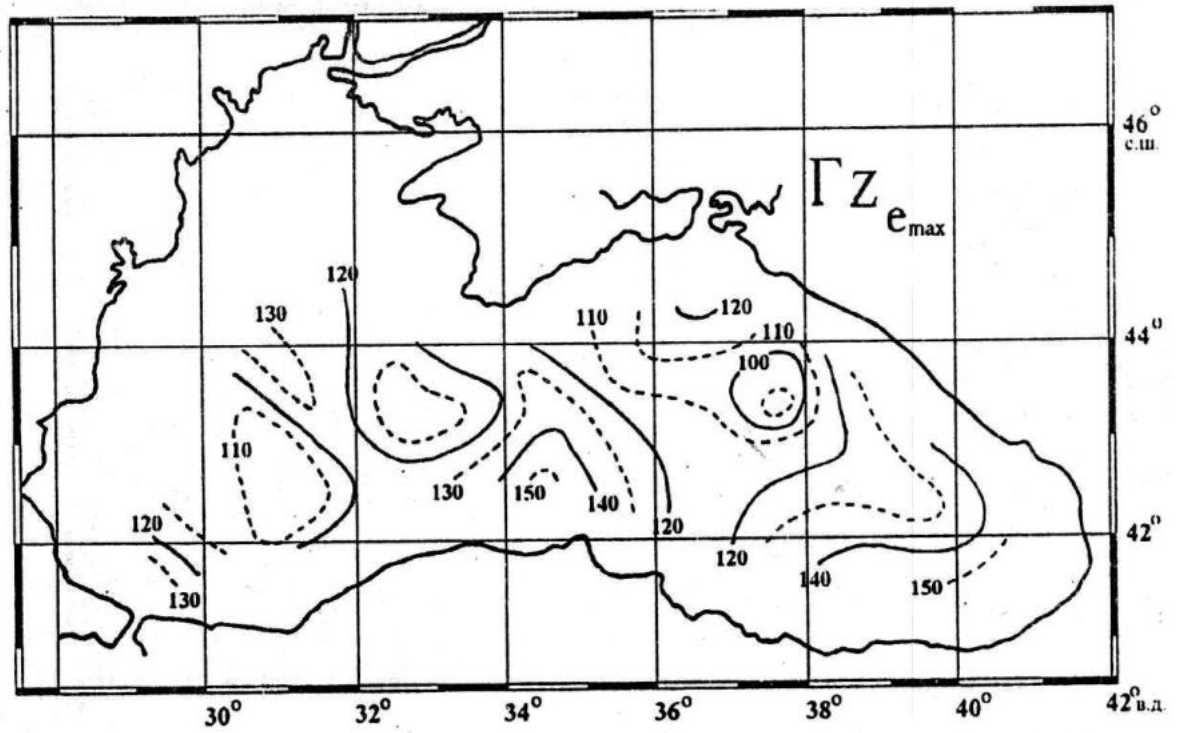
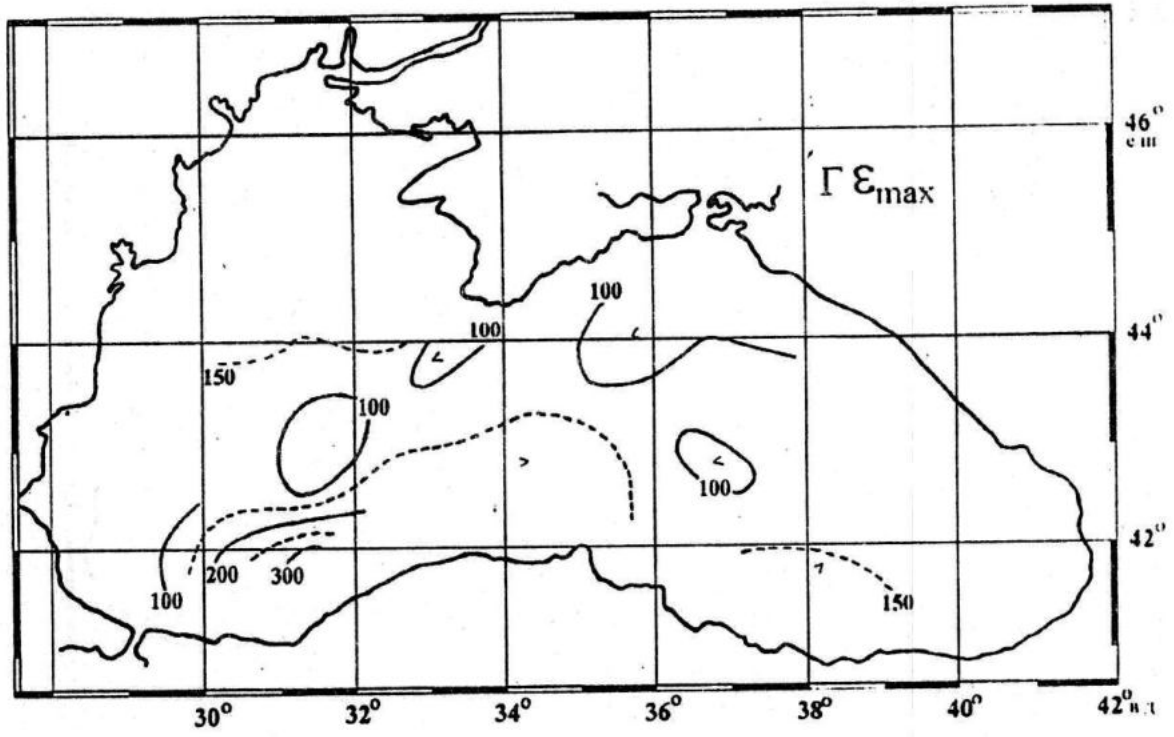


Рис. 4. Окончание

и на картах глубины залегания ГСМ для зимнего периода [3].

Известно, что амплитуда и глубина залегания $\epsilon_{\text{макс}}$ на протяжении года минимальны в центральных областях циклонических круговоротов и максимальны на их перифериях в зоне ОЧТ [3] и, видимо, в связи с вырождением ГСМ в центрах циклонических образований была установлена замечательная особенность распределения гидрооптических характеристик в Черном море. По обе стороны вдоль линии, соединяющей мыс Кору в Болгарии и мыс Утриш в России, за весь период наблюдений отмечались минимальные величины гидрооптических параметров. Расположение изолиний этих параметров без конкретного выделения отдельных характеристик приведено на рис.3. Следует подчеркнуть, что на этом же участке акватории, по данным гидрохимических исследований, на карте среднегодовой топографии границы сероводорода в 80-е годы четко выделялась минимальная глубина ее залегания — 100м.

На рис.4 а-е впервые представлено среднегодовое распределение шести оптимальных оптических параметров, рассчитанных для стандартных квадратов (рис.2) и осредненных за многолетний период.

В западной части моря для ϵ_0 , $\epsilon_{\text{ср}}$, $\epsilon_{\text{мин}}$, $\epsilon_{\text{макс}}$ между 30—32° в.д. и 42—44° с.ш. располагаются минимальные значения всех параметров. Здесь на схеме поверхностных квазистационарных течений проявляется западный циклонический круговорот [1]. На картах $Z \epsilon_{\text{мин}}$ и $Z \epsilon_{\text{макс}}$ в этих границах отмечается подъем изолиний к поверхности относительно их распределения в окружающих водах.

В восточной части моря между 35—38° в.д. и в тех же широтных пределах можно также отметить зоны с минимальными значениями всех шести параметров, что связано

с действующим в этом районе циклоническим круговоротом. Часть акватории, находящаяся между 38—40° в.д., имеет более высокие значения оптимальных оптических параметров и расположены они на более глубоких горизонтах. Этим же свойством распределения обладает и западная часть акватории моря в районе, прилегающим к проливу Босфор и части Анатолийского побережья (29—31° в.д. и ограниченном на севере 43° с.ш. Это связано, по-видимому, интенсивным опусканием веществ с поверхности до границы смены зон кислорода и сероводорода вдоль материкового склона антициклоническими образованиями, что было обнаружено в 1989, 1990 годах [2]. Абсолютные значения оптических параметров в западной и восточной частях моря отличаются незначительно.

Заключение. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что пространственное распределение среднегодовых оптимальных оптических параметров имеют низкие значения в западной и восточной частях Черного моря.

Области повышенных значений параметров в юго-восточной (Кавказское побережье) и юго-западной частях (у пр.Босфор и западной части Анатолийского побережья) связаны с зонами конвергенций и антициклоническими круговоротами.

Формализованные профили и статистические оценки оптимальных гидрооптических параметров могут использоваться для любого охваченного измерениями района в качестве опорных значений, поскольку массив оптических данных формировался в период стабильного состояния гидрооптической ситуации.

Литература.

1. Богатко О.Н., Богуславский С.Г., Беяков Ю.М., Иванов Р.Н. Поверхностные течения Черного

моря // Комплексные исследования Черного моря. — Севастополь: МГИ АН УССР, 1979. — С.26—33.

2. Прохоренко Ю.А., Краше-нинников Б.Н., Агафонов Е.А., Башарин В.А. Экспериментальные исследования глубоководного слоя мутности в Черном море // Морской гидрофизический журнал. — 1993. — №2. — С.52—63.

3. Маньковский В.И. Оптическая

структура вод Черного моря и закономерности ее формирования

// Гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. — Севастополь: МГИ АН Украины, 1992.г — С.7—27.

4. Еремеев В.Н., Безбородов А.А. Сероводород в глубоководной части Черного моря: происхождение, распределение, источники и стоки // Там же. — С.31—57.