

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Е.А.Агафонов, А.С.Кукушкин,  
Ю.А.Прохоренко.

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: [oaoi@alpha.mhi.iuf.net](mailto:oaoi@alpha.mhi.iuf.net)

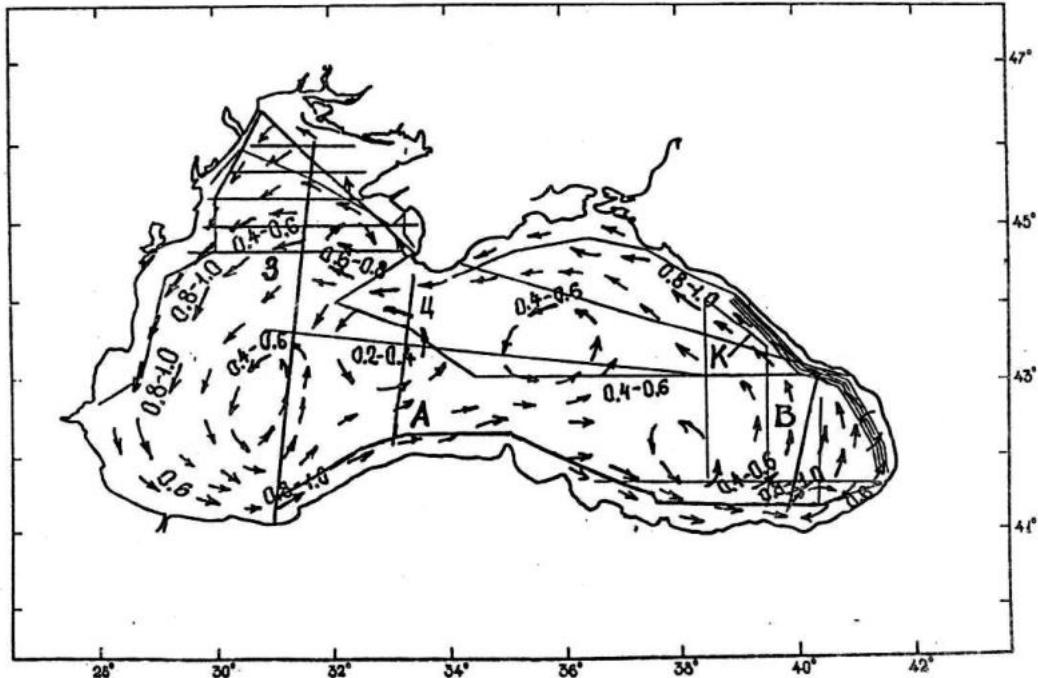
Преоставлено распределение показателя ослаблении света (ПОС) в поверхностном слое вод в западном, центральном, восточном, Анатолийском и Кавказском районах Чёрного моря. Приводятся статистические оценки показателя ослабления для этих районов.

**Введение.** В 1977-1987 гг были проведены экспедиции на НИС "Муксун", "Айтодор",

северо-западной части Чёрного моря. Рассматривалось совместное распределение, ПОС, взвеси, температуры, хромофила "а" и на полигонах, в водах, прилегающих к м. Пицунда, Керченскому проливу, Ялтинскому заливу.

Результаты исследований на этих участках акватории Чёрного моря кратко сводятся к следующему:

В прибрежных водах Кавказа в течение десятилетнего цикла во все гидрологические сезоны наблюдалось уменьшение прозрачности вод по мере продвижения от Керченского пролива к п. Батуми, которое было заметнее весной в большей мере, чем летом. Наименьшая прозрачность регистрировалась в сезон весеннего половодья. Было установлено, что пространственная структура поля прозрачности вдоль побережья в течение года крайне неоднородна, а размеры и форма неоднородностей прозрачности и температуры, их пространственно-временная изменчивость, были тесно связаны с влиянием рек Кавказа - Рioni, Ингури, Кодори, Бзыбь, Псоу, Мzymта, Шахе и других менее крупных рек. Области



"Михаил Ломоносов", "Академик Вернадский", РПС "Супса", СЧС-1292, в которых исследовались распределения показателя ослабления света (ПОС) на различных участках акватории Чёрного моря и связи этого распределения с гидрологическими динамическими и биологическими характеристиками среды.

Подробно было проанализировано распределение ПОС вдоль Кавказского, Крымского и Румелийского берегов, а также в

Рис. I Трассы буксировки измерителя показателя ослабления света в период 1977-1984 гг полужирными линиями отмечены буксировки, обсуждение которых приводится в статье. З - западный, Ц - центральный, В - восточный, А - Анатолийский, К - Кавказский районы Чёрного моря.

Маршруты нанесены на карту поверхностных течений, построенную по результатам многолетних натурных измерений поверхностных течений в Чёрном море.

вод повышенной мутности, как правило, также регистрировались на траверзах крупных промышленных, портовых и курортных городов.

Ширина прибрежной зоны, определенная по распределению ПОС и температуры составляла во все сезоны 10-15 км.

Отмечалась как сезонная, так и

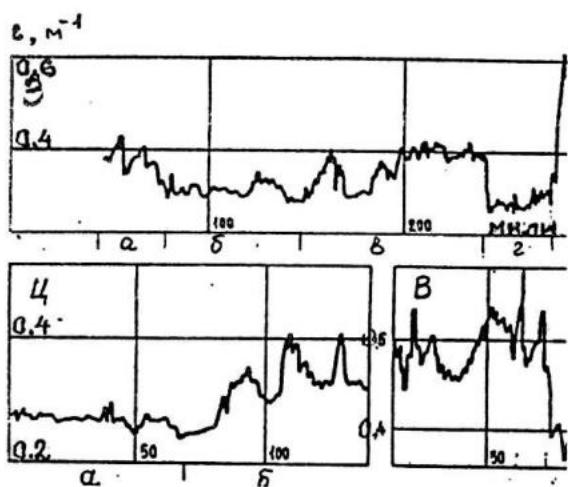


Рис.2. – 3, Ц, В. Распределение прозрачности в западной - З, центральной - Ц, восточной – В частях Чёрного моря.

З (а - южная ветвь ОЧТ, б - центральная часть первого западного циклонального круговорота, в - северная ветвь ОЧТ). Ц (а - область второго западного циклонального круговорота, б - северная ветвь ОЧТ).

кратковременная, порядка суток, изменчивость показателя ослабления света. В районе Крымского побережья наиболее прозрачные воды, характеризуемые незначительной изменчивостью ПОС, в различные сезоны отмечались вдоль западного, южного и юго-восточного берегов Крыма, от п. Севастополь до Феодосийского залива. При приближении к Керченскому проливу прозрачность вод снижалась, что объясняется влиянием азовоморских вод. Так же, как и при наблюдениях вдоль берегов Кавказа, здесь отмечались отдельные зоны мутных вод в районах портовых и курортных городов (Феодосия, Ялта, Севастополь), что подтверждалось повышенным содержанием частиц суммарной взвеси в этих зонах.

В северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ) наиболее мутные воды были зарегистрированы вдоль западного берега в зоне гидрофронта, где происходит смешение больших объёмов трансформированных речных вод Днепра, Днестра и Дуная, несущих значительные количества взвешенного

вещества. В осенний сезон, когда сток минимален (межень), было установлено, что мутные воды находились вблизи берега и распространялись в центральную часть СЗЧМ только из района, прилегающего к приусадебной зоне Дуная воды из дельты Килийского гирла, разветвляющегося на гирла Прорва и Новостамбульское. Анализ динамики вод в этот сезон позволил установить, что указанному перемещению способствовали антициклонические образования, наблюдавшиеся в период работ. При изменении метеорологической ситуации под действием ветров, вызывающих нагонные явления, регистрировался отчетливо выраженный гидрофонт вдоль всей береговой черты.

Маршруты, по которым проводились непрерывные измерения прозрачности и температуры в указанный период, представлены на рис.1 тонкими линиями. Анализ проведенных исследований изложен в опубликованных работах, приведенных в списке литературы [1-8].

Анализ результатов наблюдений ПОС в западном, центральном, восточном, Анатолийском и Кавказском районах Чёрного моря. Излагаемые в этом разделе статьи материалы являются логическим продолжением результатов работ, представленных в списке литературы. Трассы, распределение  $\epsilon$  на которых обсуждается в статье, выделены на рис.1 полужирными линиями. Как видно из рисунка, представленные буксировки замыкают практически весь периметр Чёрного моря и пролегают в районах устойчивых круговоротов. Следует подчеркнуть, что распределения прозрачности на указанных участках акватории Чёрного моря приводятся впервые и нигде ранее не публиковались. Таким образом, материалы, представленные в этой статье, в совокупности с материалами опубликованными ранее, позволяют составить полное представление о распределении оптических свойств вдоль Кавказского, Крымского, Румелийского и Анатолийского побережий, а также рассмотреть распределения прозрачности в местах расположения некоторых устойчивых циклональных и антициклональных образований в Чёрном море.

Для всех перечисленных районов были рассчитаны гистограммы абсолютных значений показателя ослабления света и его горизонтальных градиентов, корреляционные функции и функции спектральной плотности оптических неоднородностей. Данные этих расчётов сведены в таблицу, где наряду со статистическими оценками приводятся условия проведения экспериментов. Приведенные

Таблица

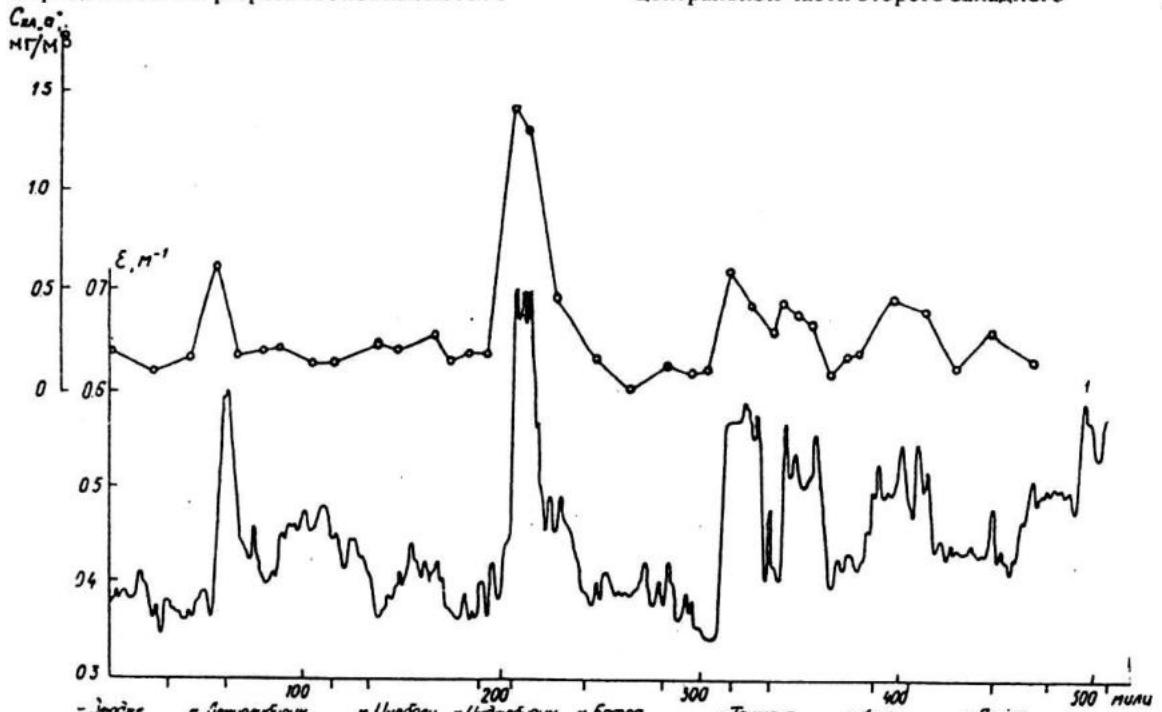
**Место и время проведения буксировок,  
статистические оценки показателя ослабления света  
для различных районов Чёрного моря**

Характеристика	Наименование галса					Кавказские галсы, Туапсе - Батуми		
	Западный галс	Центральный галс	Восточный галс	Анатолийский галс	1-ый, удаление	2-ой, удаление	3-ий, удаление	4-ый, удаление
Начало галса	Дата 23.04.81 Время 9ч.18м.	10.05.81 2ч. 45м.	30.04.81 9ч. 25м.	26.04.81 8ч. 14м.	28.06.79 15ч. 00м.	24.06.79 7ч. 40м.	26.06.79 7ч. 15м.	25.06.79 5ч. 30м.
Конец галса	Широта 41 18,5 с.ш. Долгота 30 59,7 в.д.	44 26,5 с.ш. 34 26 в.д.	41 11,7 с.ш. 40 2,3 в.д.	42 35с.ш. 31 4 в.д.	41 37 с.ш. 40 40 в.д.	44 05,4 с.ш. 38 59,5 в.д.	44 03,5 с.ш. 38 50,5 в.д.	41 42,4 с.ш. 41 30,2 в.д.
Протяжённость галса, мили	234,5	138,5	114	504	192	193	195	198
Диапазон изменения ПОС, 1/м	0,15 - 0,26	0,24 - 0,41	0,22 - 0,32	0,2 - 0,283	0,2 - 0,5	0,18 - 0,5	0,18 - 0,59	0,2 - 0,35
Наиболее вероятное значение ПОС, 1/м	0,2 - 0,21	0,26 - 0,27	0,27 - 0,29	0,23 - 0,24	0,2 - 0,22	0,18 - 0,20	0,26 - 0,28	0,24 - 0,3
Диапазон изменения градиентов ПОС, 1/м на 0,5 мили	0,0 - 0,04	0,0 - 0,04	0,0 - 0,04	0,0 - 0,04	0,0 - 0,16	0,0 - 0,13	0,0 - 0,13	0,0 - 0,12
Характерный масштаб неоднородностей ПОС, мили	4	4	2	7,5	2,5	2,7	5	2,5
Среднее значение, 1/м	0,348	0,296	0,483	0,442	0,3	0,262	0,287	-

оценки дополняют сведения о числовых характеристиках ПОС, рассчитанных для Крымского побережья и СЗЧМ [8].

На рис.2 представлено распределение прозрачности на квазимеридиональных разрезах в западной - З, центральной - Ц, восточной - В частях Чёрного моря и вдоль Анатолии - А.

Распределение прозрачности на меридиональных разрезах сопоставляется с



картой осредненных поверхностных течений, построенной для апреля-мая (время наших измерений) на основе большого массива натуральных данных автономных буйковых станций и динамической топографии, рассчитанной по материалам многочисленных гидрологических станций [10].

Западная трасса начиналась на траверзе мыса Олюдже и, проходя через южную ветвь Основного черноморского течения (ОЧТ), где значения  $\varepsilon=0.4 \text{ м}^{-1}$ , (рис.2 - За), пересекала далее первый западный циклонический круговорот, где регистрировались пониженные значения ПОС -  $0.3 \text{ м}^{-1}$  (рис.2 - 3б). На участке 2 - 3в изменение ПОС было связано с пересечением второй ветви ОЧТ, которая начинается в районе м. Сарыч заходит в СЗЧМ, поворачивает на запад и юго-запад и, присоединяя дунайские воды, сливается с главным потоком на участке м. Калиакра. Увеличение ПОС до  $0.4 \text{ м}^{-1}$  на протяжении 50 миль, возможно, связано с существованием в этом районе антициклонического круговорота. Полоса чистой воды при подходе к северной оконечности разреза, где  $\varepsilon=0.28 \text{ м}^{-1}$ , создается водами центральной части СЗЧМ, что

отмечалось и ранее. Резкое увеличение ПОС от 0.28 до 0.6 м в районе Тендровской косы несомненно связано с выносом вод Южного Буга и Днепра, содержащих большое количество взвешенного вещества из Днепровского и Бугского лиманов.

Распределение ПОС на центральном разрезе характеризуется пониженными значениями показателя ослабления света при пересечении центральной части второго западного

циклонального круговорота где  $\varepsilon=0.28 \text{ м}^{-1}$  (рис.2 - Ца). При пересечении ОЧТ, рис.2 - Цб, наблюдалось чередование участков вод пониженной и повышенной прозрачности.

В восточной части моря, рис.2 - В, изменение прозрачности, по мере продвижения к северу, связано со сложной динамической ситуацией - существованием циклонических и антициклонических круговоротов и взаимодействием их с ОЧТ.

При движении вдоль Анатолийского побережья удаление от берега на всём протяжении буксировки лежало в пределах 13,5-20 миль и маршрут пролегал в зоне действия ОЧТ. Во время измерений регистрировался сложный профиль ПОС, характеризовавшийся наличием крупномасштабных скачкообразных изменений, на фоне которых отмечались мелкие неоднородности, рис.3. Известно, что меандрирование стрежня ОЧТ и вихреобразование на его боковых границах приводит к возникновению системы

прибрежных антициклонических вихрей. Это наиболее характерно для Анатолийского и Кавказского побережий. Такие вихри часто наблюдаются в районах мысов Олюдже, Керемпе, Инджебурун, Чам, Ишикли и др. Эти вихри, захватывая прибрежные более мутные воды, выносят их в район материкового склона и тем самым оказывают существенное влияние на распределение прозрачности вод вдоль Анатолийского побережья.

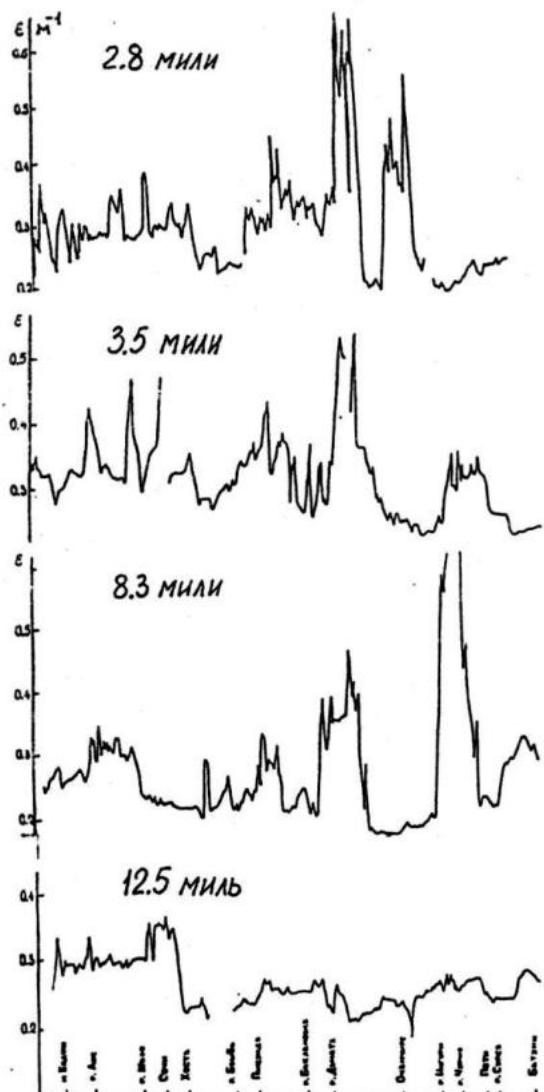


Рис.4. Распределение ПОС вдоль Кавказского побережья на участке п. Туапсе - п. Батуми на различных удалениях от берега, значения которых указаны в левом верхнем углу каждого галса.

На рис.3 представлено распределение показателя ослабления и концентрации хлорофилла "а", измерявшихся одновременно, вдоль Анатолийского побережья. Практически полное соответствие в распределении максимальных значений двух характеристик

свидетельствует в пользу того обстоятельства, что увеличение значений ПОС было вызвано, главным образом, присутствием взвеси органического происхождения.

В распределении показателя ослабления света вдоль Анатолии, между мысами Демирлибурун и Инджебурун, регистрировались три полосы вод пониженной прозрачности. В первой полосе, протяженностью 25 миль регистрировались

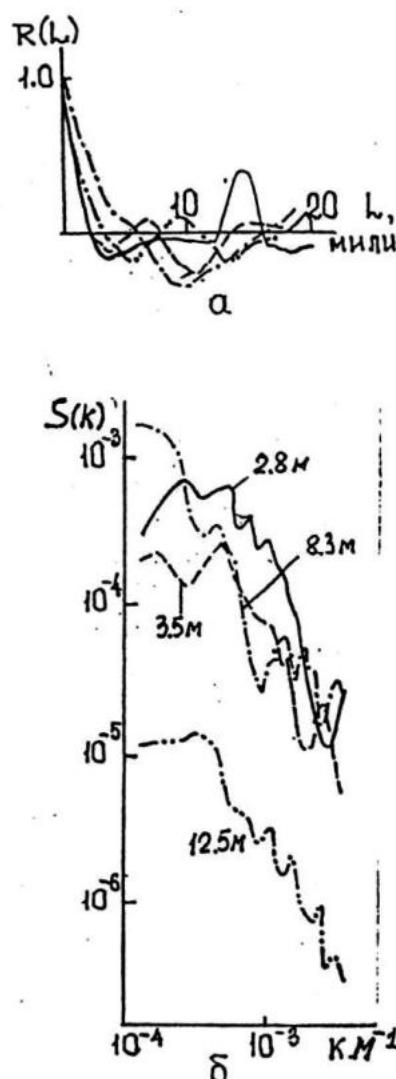


Рис.5. Корреляционные функции - а, функции спектральных плотностей - б флюктуаций прозрачности, рассчитанные на различных удалениях от берега, которые указаны для каждого графика в милях.

высокие значения ПОС -  $0.6 \text{ m}^{-1}$ . Во второй и третьей полосах, протяженностью около 60 миль каждая, ПОС не превышал  $0.45 \text{ m}^{-1}$ . На этом участке маршрута располагались порты Эрегли, Зонгулдак, Бартын, Джиде. Наиболее высокие значения ПОС и концентрации хлорофилла "а" были зарегистрированы на

участке маршрута между мысами Инджебурун и Бафра. В районе последнего в море впадает двумя рукавами река Кызыл-Ирмак, которая берет начало вPontийских горах и является самой большой рекой на Анатолийском берегу. У м. Джива, расположенному западнее устья реки Ешиль-Ирмак также отслеживалось увеличение ПОС. Между мысами Ташкана и Кале регистрировались две полосы мутных вод, протяженность которых составляла около 25 миль. Они были разделены прослойкой относительно чистых вод на траверзе м. Чам, где берет начало ветвь ОЧТ, в своем движении к м. Пицунда. Не исключено, что эти мощные мутные потоки образованы выносами рек Кызыл-Ирмак и Ешиль-Ирмак, которые захватываются прибрежными антициклоническими вихрями и переносятся в направлении движения ОЧТ. Полоса мутных вод между мысами Кале и Приюс, протяженностью около 30 миль, возможно связана с выносом взвеси пятью реками, расположенными между ними. На подходе к п. Батуми на распределение ПОС оказывает влияние р. Чорох, которая впадает в море несколькими рукавами к юго-западу от м. Батумийский. Ширина дельты р. Чорох, при впадении в море, более одного километра, а в весенне-летние паводки, во время таяния горных снегов, река сильно разливается затопляя острова в дельте.

На рис.4 впервые приводится распределение прозрачности вдоль побережья Кавказа на участке п. Туапсе - п. Батуми на различных удалениях от береговой черты. Известно, что в прибрежной части Грузии взвешенные вещества выносятся 55 реками. Объем твердого стока пяти наиболее крупных рек Чорох, Риони, Ингури, Кодори, Бзыбь составляет 93% от суммарного объема твердых выносов всех рек.

Распределение ПОС по маршруту даёт возможность наглядно проследить расположение полос мутной воды связанных с выносом рек вдоль маршрута с привязкой к береговым ориентирам, отметить смещение некоторых из них во времени, что было связано с изменением гидрометеорологической обстановки. Максимальные значения ПОС на траверзах рек сохранили относительное постоянство при удалении от береговой черты не более 8.3 мили -  $\varepsilon=0.48-0.61 \text{ m}^{-1}$ .

Отмечалось смещение полосы мутных вод, зарегистрированной между реками Ингури и Риони в северном направлении, при проведении измерений на минимальном удалении от берега спустя 4 суток. Подобные изменения в распределении прозрачности могут быть связаны с существованием в этом районе циклонического круговорота [10].

На рис.5 изображены корреляционная функция и функция спектральной плотности для четырех галсов, расположенных на различном удалении от берега. Отчетливо прослеживается снижение интенсивности флюктуаций оптических неоднородностей при проведении измерений на расстоянии 12.5 миль от береговой черты.

#### *Основные выводы*

1. Представленный материал, при использовании результатов приведенных ранее, позволяет составить наглядную, подробную картину распределения ПОС по всему периметру Чёрного моря вдоль Крымского, Румелийского, Анатолийского и Кавказского берегов, а также при пересечении циклонических и антициклонических устойчивых образований в западной, центральной и восточной областях моря в весенний сезон.

2. При сопоставлении распределения ПОС с картой поверхностных течений, построенной на основании большого массива данных буйковых станций и карт динамической топографии по гидрологическим данным было установлено, что центральным частям циклонических круговоротов соответствуют понижения ПОС, а антициклоническим - повышение.

3. Относительное изменение показателя ослабления света в ОЧТ носит различный характер. Величина ПОС в ОЧТ может быть как выше, так и ниже, чем зарегистрированная в окружающих водах.

4. В зоне Анатолийского побережья зарегистрированы мощные струи вод с высокими значениями ПОС на траверзе Синопского залива и в приусадебных районах рек Кызыл-Ирмак, Ешиль-Ирмак и Чорох.

5. Вдоль Кавказа при измерении по маршруту п. Туапсе - п. Батуми на различных удалениях от берега - 3-12 миль - прослежена пространственная и временная перестройка распределения прозрачности. Установлено, что на расстоянии 12 миль от береговой черты, по оптическим данным, прибрежные воды полностью трансформируются в воды открытого моря.

6. Прослежено стабильное влияние крупных рек Кавказа - Риони, Ингури, Кодори, Псоу, Мзымта, Бзыбь и др. на распределение прозрачности при удалении от берега не далее 8 миль.

7. Представлены числовые, статистические оценки ПОС для всех исследованных районов, которые могут использоваться для инженерных расчетов при конструировании гидрооптической аппаратуры и производстве

подводных работ, связанных с условиями видимости под водой.

8. Числовые оценки могут служить опорными данными при проведении последующего изучения гидрооптических полей в Чёрном море.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Влияние динамики вод на формирование поля показателя ослабления в поверхностном слое Чёрного моря. Тезисы докладов 3 Съезда советских океанологов, секция физики ихимии, Акустика и оптика, Л., 1987, с.97.

2. Агафонов Е.А., Сорокина Н.А., Прохоренко Ю.А., Павлова Е.Е.. Исследование прозрачности шельфовой зоны Крыма и Кавказа. //Морской гидрофизический журнал, №5, 1994, - с.63-67.

3. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А., Каминский С.Т. Пространственная структура и изменчивость полей течений показателя ослабления света и температуры в поверхностном слое северо-западной части Чёрного моря. Морской гидрофизический журнал, №4, 1998, с. 57-69.

4. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Структура и изменчивость поля прозрачности поверхностных вод прибрежной зоны Кавказского побережья Чёрного моря. МГФЖ, №1, 2000, Стр.66-80.

5. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Распределение

прозрачности, температуры и взвеси в поверхностных прибрежных водах Кавказского побережья в летний гидрологический сезон. //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - НАН Украины, - Севастополь, -1999, с.174-182.

6. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Многолетние наблюдения пространственно-временной изменчивости прозрачности в поверхностных водах северо-западной части Чёрного моря и прилегающих к берегам Крыма. //Системы контроля окружающей среды. - НАНУ, МГИ, - Севастополь.- 1999. - НАН Украины, - Севастополь, - 1999, с.265-270/

7. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Исследование особенностей распределения трансформированных речных вод в северо-западной части Чёрного моря в весенний гидрологический сезон с использованием гидрооптических характеристик. // Метеорология и гидрология. №8,- 2000,- с.93-101.

8. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Статистические оценки экспериментальных распределений показателя ослабления света в прибрежных водах Чёрного моря, прилегающих к берегам Украины. В сб. Системы контроля окружающей среды. Севастополь. 2001.С.292-296.

9. Леонтьев О.К, Сафьянов Т.А. Каньоны под морем. М. Мысль. 1973. 259 с.

10. Богатко О.Н., Боргуславский С.Г., Беляков Ю.М., Иванов Р.И. Поверхностные течения Чёрного моря. МГИ АН УССР. Севастополь. 1979. С.26-33.