

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№ 5804-В87

УДК 551.463.5.

Е.А.Агафонов, С.Г.Богуславский, Ю.А.Прохоренко

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Для изучения изменчивости вертикальной структуры оптических полей глубоководной части Черного моря выполнены четыре гидрооптические съемки, относящиеся к различным сезонам: в декабре 1980 г. и в мае 1983 г. на НИС "Академик Вернадский"; в июне 1978 г. и в октябре 1985 г. на НИС "Михаил Ломоносов". Поскольку измерения производились в различные годы, то на годовом ходе оптических характеристик отразилось и влияние межгодовых изменений.

В процессе экспедиционных исследований гидрооптические станции располагались в узлах прямоугольной сетки через 30-40 миль и охватывали основную часть глубоководной акватории моря. Методом зондирования прозрачномером ЛОП [1] от поверхности до горизонта 400-500 м измерялся показатель ослабления света для двух участков спектра на длинах волн 422 и 495 нм. На переходах между станциями буксируемым прозрачномером МТИ [2] измерялось горизонтальное распределение E в поверхностном слое.

На основе обработки и анализа вышеизложенных материалов наблюдений, а также опубликованных сведений [3] можно дать характеристику гидрооптической структуры Черного моря и ее сезонную изменчивость.

В пространственном распределении оптических характеристик хорошо заметны области основных циклонических круговоротов и локальных антициклонических образований. Вертикальная структура E хорошо согласуется с плотностными неоднородностями и положением верхней границы сероводородной зоны. Эти особенности оптического поля имеют для моря общий характер. В глубоководных районах их проявление объясняется, в основном не-

пераспределением взвешенного и растворенного вещества биологического происхождения и материкового стока: у побережья и на мелководье оптические неоднородности имеют преимущественно терригенные источники.

На вертикальное распределение ε наиболее существенное влияние оказывают термоклин и верхний слой сероводородной зоны. Если наличие термоклина - общее свойство для всего Мирового океана и механизм формирования оптических свойств в слое термоклина исследован, то происхождение особенностей ε на границе сероводородной зоны еще мало изучено. Поэтому в анализе данных распределения ε помимо физических характеристик среды полезно привлечение биологических и химических характеристик.

Рассмотрим структуру вертикального профиля показателя ослабления излучения для Черного моря. На рис. I приведен осредненный по всем станциям летней съемки вертикальный профиль ε для $\lambda = 422$ нм. Экстремально большие значения ε , на графике в условных единицах до 200 у.е. наблюдаются вблизи верхней границы термоклина вследствие скопления здесь планктонных организмов. С увеличением глубины прозрачность вод увеличивается, достигая максимума в слое 80-90 м. С увеличением глубины начинает сказываться влияние сероводородной зоны, и наблюдается обусловленный этим влиянием второй максимум ε . В среднем, глубина его залегания - 130 м. Согласно анализу батометрических проб в слое максимума ε наблюдается повышенное содержание биологических остатков жизнедеятельности планктона вышележащих слоев. Их ступение на этих горизонтах часто объясняют наличием галоклина, увеличением градиента солености. Однако слой максимальных градиентов солености обычно приурочен к слою 60-80 м. Возможно, кроме биологических остатков на величину ε оказывается влияние и гидрохимических процессов. Известно, что в процессе окисления сероводорода, как промежуточный продукт, образуется коллоидная сера. Ее появление в воде может существенно сказаться на величине ε . К сожалению, определений концентрации коллоидной серы в экспедициях до сих пор не делается.

В одной из последних экспедиций было получено эксперимен-

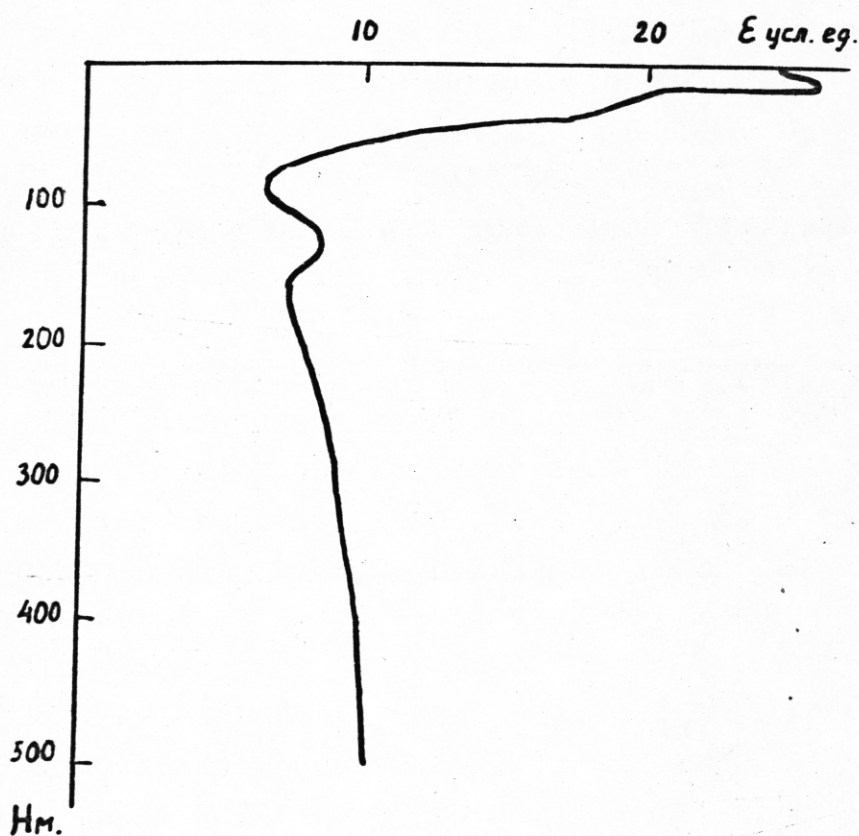


Рис. I. Осредненный вертикальный профиль показателя ослабления для глубоководной части Черного моря.

тальное подтверждение существенного увеличения значений коэффициента ослабления при внесении сероводорода в кислородную зону. Это было замечено на подъеме прибора, когда в измерительном объеме прозрачномера был искусственно затруднен водообмен с окружающей средой. В этом случае измеряемый профиль приобретал явно искаженный вид. Начиная с глубин на 20-30 м выше глубинного слоя взвеси величина ϵ на протяжении двух-трех десятков метров оказывалась явно завышенной, а затем нормализовывалась. В случае остановки прибора на горизонте при подъеме, где профиль искажен, величины ϵ через несколько десятков секунд нормализуются, не сохраняют своих завышенных значений. Профиль, записанный при зондировании вниз, также не имеет искажений. При восстановлении обычной скорости водообмена в измерительном объеме прибора описанные искажения не замечались. Это заставляет предполагать, что прибором на вышерасположенные горизонты при подъеме поднимались воды, насыщенные сероводородом. Наблюдается временное увеличение концентрации ослабляющей субстанции, которой может оказаться коллоидная сера. Для определения природы глубинного слоя взвеси требуется провести дополнительные эксперименты. По-видимому, не следует пренебрегать и описанным выше эффектом, исследовав его в лабораторных условиях.

На больших глубинах ниже слоя взвеси распределение ϵ близко к однородному. Замечено, что ϵ увеличивается с глубиной, причем, больше это характерно для коротковолновой части видимого участка спектра: вода с глубиной приобретает желто-коричневый оттенок. Есть сходство такой спектральной характеристики со спектром ослабления "желтого вещества". Некоторые предполагают, что глубинный ход профиля ϵ обусловлен увеличением концентрации сероводорода с ростом глубины. Действительные причины увеличения значений ϵ в сероводородной зоне пока не выяснены.

Анализ пространственного распределения гидрооптических свойств по результатам пространственных измерений обычно предусматривал представления данных в виде топографии характерного слоя. Значения ϵ в этих слоях и глубины их залеганий могут

указать на поведение источников оптических неоднородностей и выяснить их изменение во времени и по площади моря. Так как факторы, влияющие на оптические свойства, зависят в основном от физических причин, то представляется возможным изучать особенности физических полей оптическими методами. Из рассмотрения описанного выше профиля вертикального распределения можно выбрать наиболее характерные его точки, которые удобно использовать для описания различных источников оптических свойств среды.

Для дистанционных измерений важно иметь оценки прозрачности поверхностного слоя вод. На профиле в поверхностном 10-15-метровом слое вертикальное распределение показателя ослабления обычно однородно и для описания его пространственного распределения можно выбрать любой из этих горизонтов. Для построения карт горизонтального распределения Σ нами выбран горизонт 10 м. Величины Σ здесь определяются в основном концентрацией фитопланктона. Вертикальная структура верхней части профиля - над сероводородной зоной - формируется под влиянием законов осаждения продуктов жизнедеятельности организмов, их видоизменения на этом пути. Структура глубинного слоя взвеси - результат работы другого механизма. Минимум Σ - граница влияния этого механизма, обусловленного наличием сероводородного заражения. Залегающий ниже слоя прозрачных вод слой взвеси с максимумом у верхней границы сероводорода имеет асимметричную форму профиля. Иногда он содержит несколько максимумов. У берегов Босфора встречалось многослойное глубинное строение профиля. Вертикальная толщина его доходит до 20-30 м, но в центральных районах моря, где слой выражен обычно очень слабо, определить его толщину затруднительно. Для построения карт пространственного распределения в качестве параметра можно принять глубину его максимума - он является наиболее характерной особенностью поглощающего слоя. При наличии нескольких максимумов приходится фиксировать наибольший из них. Значение максимума Σ зависит от концентрации взвешенного вещества и возможно, от концентрации сероводорода на близлежащих горизонтах.

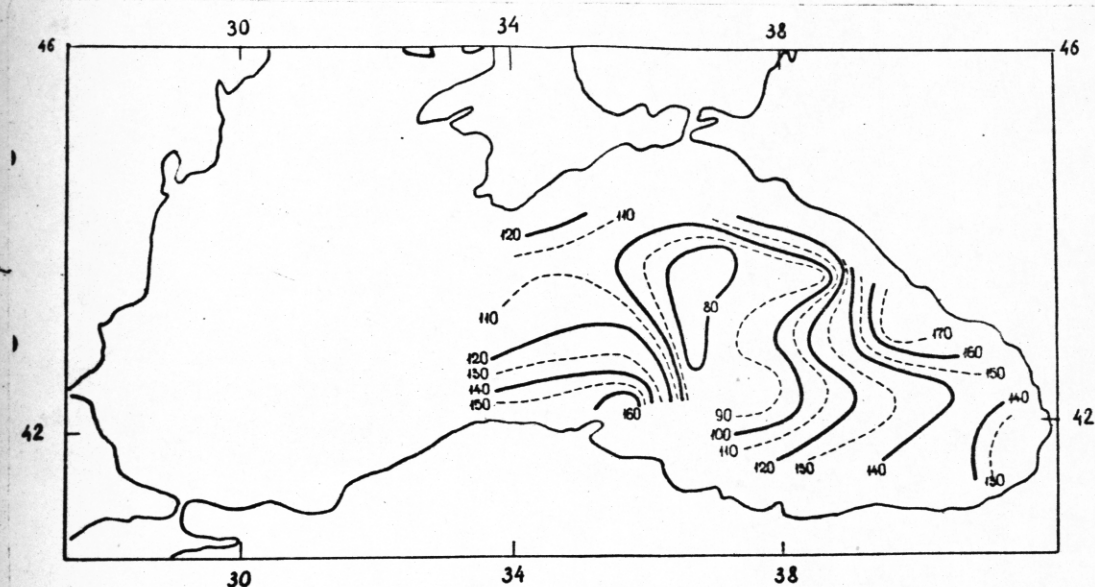
Для общей характеристики гидрооптических особенностей на разных глубинах можно выбрать шесть характеристик параметров: значение ε_0 в подповерхностном слое на горизонте 10 м, значение ε в прозрачном слое и в глубинном слое взвеси, ε_{min} и ε_{max} , глубины залегания минимума $z\varepsilon_{min}$ в прозрачных водах и максимума $z\varepsilon_{max}$ в глубинном слое взвеси, и $\Delta\varepsilon$, относительное увеличение значений показателя ослабления на больших глубинах / $\Delta\varepsilon$ - отношение значений на глубинах 200 и 300 м/.

Для летней съемки диапазон изменения относительного увеличения показателя $\Delta\varepsilon$ с глубиной довольно широк /0,55-1,05/. Средние значения $\Delta\varepsilon$ для отдельных съемок находятся в пределах - 0,85-0,91. Станции с незначительным отличием этого параметра от единицы обычно расположены вблизи южного берега моря. У Синопа встречались станции не с увеличением, а с уменьшением $\Delta\varepsilon$ с глубиной. Для центральных районов этот параметр меньше. Большие изменения $\Delta\varepsilon$ наблюдаются вблизи берегов. По-видимому, это связано с повышенным содержанием терригенного материала в поверхностных слоях.

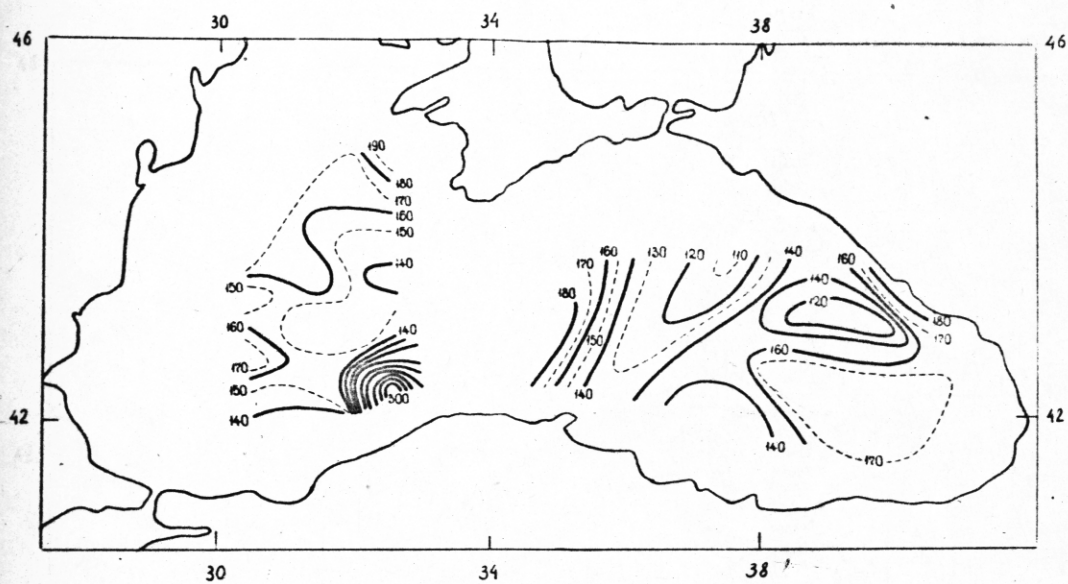
Слой глубинной взвеси, его максимум, имеет на отдельных съемках довольно сильную изменчивость. Коэффициент вариации здесь достигает 0,64 /летняя съемка/. Такую структуру оптического поля сопровождает низкое значение ε_{min} в слое прозрачных вод /в 2-2,5 раза меньше, чем в слое максимума глубинной взвеси/. Такая корреляция между значениями ε_{min} в слое прозрачных вод и концентрацией глубинной взвеси зарегистрирована летом и осенью.

На рис.2 представлены сезонные карты глубины залегания $z\varepsilon_{max}$. На топографии этих слоев хорошо выражены сезонные динамические особенности, вихревой характер циркуляции вод. Слой $z\varepsilon_{max}$ хорошо выделяет центры западного и восточного круговоротов. Заметны поднятия их центральных областей, обозначившиеся замкнутыми изобатами. Антициклоническим образованиям соответствуют наибольшие глубины слоя $z\varepsilon_{max}$.

Основной особенностью годового хода глубины залегания $z\varepsilon_{max}$ является ее увеличение от периода весенне-летнего нагрева вод к периоду осенне-зимнего выхолаживания.

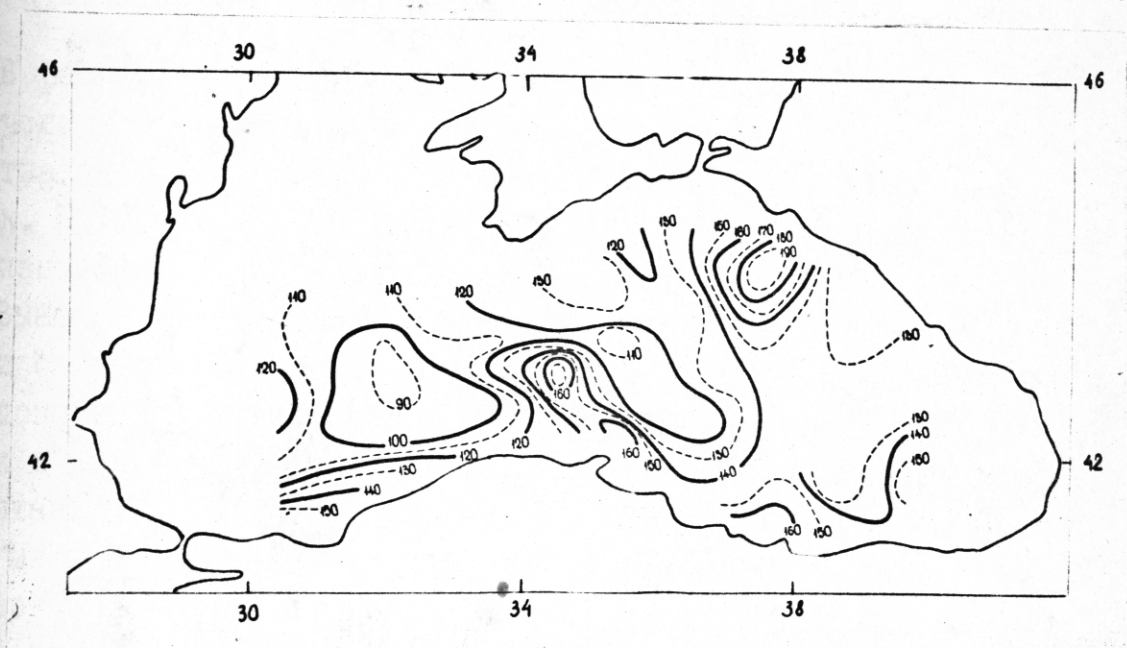


а

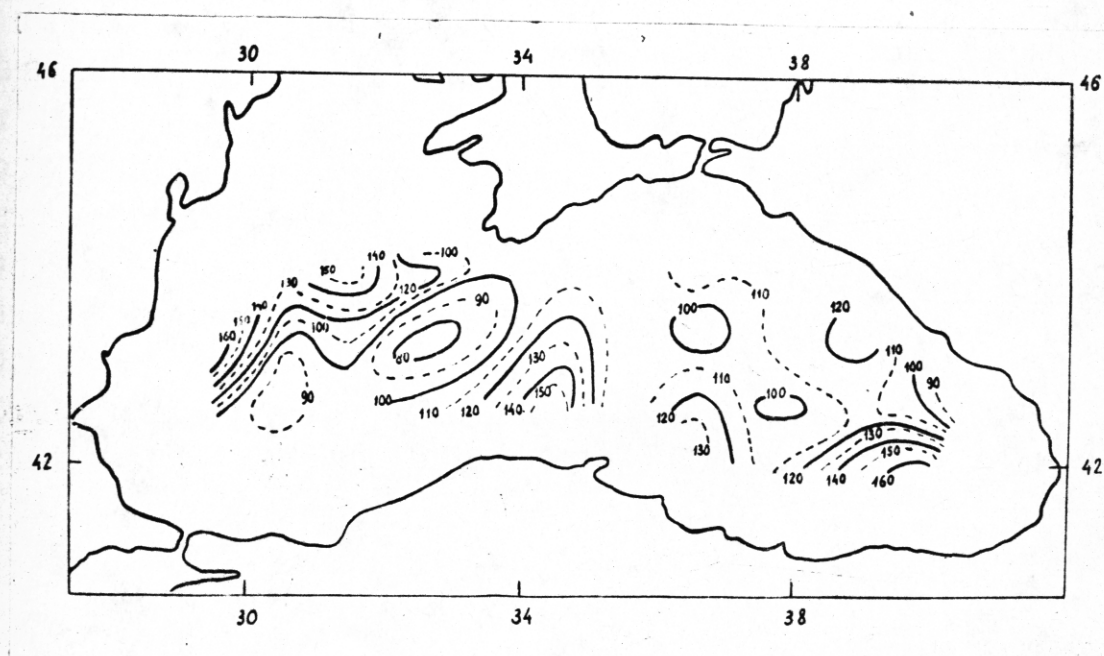


б

Рис.2. Сезонные карты глубины залегания максимальных значений ε для весеннего (а) и зимнего (б) сезонов.



В



Г.

Рис.2. Сезонные карты глубины залегания максимальных значений ε для летнего (в) и осеннего сезонов (г).

В распределении значений ε_{max} всегда характеризуется увеличением их у южного берега моря, особенно у Синопа в районе ответвления одной из струй Основного течения на северо-восток. Южные станции съемок обычно располагались вблизи резкого изменения уклонов рельефа дна.

Выше уже упоминалось о возможности связи между химическими и оптическими характеристиками. В прошлом предпринимались попытки численно оценить их. Залегание слоя глубинной взвеси и верхняя граница сероводорода хорошо коррелируется. Рассчитанный коэффициент корреляции равнялся 0,81. Этот факт можно интерпретировать как установление зависимости оптических неоднородностей от гидрохимической структуры вод.

В последних рейсах было обнаружено, что оптические проявления границы сероводорода располагаются выше глубины обнаружения заметных (более 0,5 мл/л) следов сероводорода, в среднем на 12 м (максимум слоя взвеси). Слой прозрачных вод выше на 30 м. Абсолютные значения ε в слое взвеси не зависят от концентрации сероводорода. Концентрация кислорода также не влияет на оптические свойства. По данным съемок 1985 г. высокие коэффициенты корреляции (порядка 0,81-0,87) имеются между глубинами залегания границ кислородной, сероводородной зон, минимумов слоя прозрачных вод и максимумов слоя взвеси. Они устанавливают связь между зоной сосуществования и оптическими неоднородностями у ее верхней границы.

Таким образом, слой взвеси отслеживает границу зоны сосуществования, находится выше ее и может считаться ее проявлением в оптических свойствах глубинных вод.

Литература

1. Ли М.Е., Земляная Л.А. Исследование прозрачности вод Черного моря. - В кн.: Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. Севастополь, МГИ АН УССР, 1980, с. 52-60.
2. Агафонов Е.А., Прохоренко Ю.А. Буксируемый измеритель прозрачности. - В кн.: Экспериментальные методы исследования океана. Севастополь, МГИ АН УССР, 1978, с. 137-143.
3. Неуймин Г.Г. Оптические характеристики вод Черного моря. - В кн.: Комплексные океанографические исследования Черного моря. Киев, Наукова думка, 1980, с. 199-208.