

## Оптические характеристики вод восточной части северо-западного шельфа Черного моря в весенний период

Приводятся данные измерений спектральных распределений показателя ослабления направленного света  $\varepsilon(\lambda)$  в поверхностных водах восточной части северо-западного шельфа (СЗШ) Черного моря весной 1993 и 1995 гг. Установлено, что воды Основного Черноморского течения, поступающие в этот район с юга, доходят практически без изменения своих оптических свойств до широты  $45^{\circ}50'$ , оказывая существенное влияние на оптические характеристики вод данного района. Проведено сравнение спектральных распределений  $\varepsilon(\lambda)$  в водах восточной и западной частей СЗШ, свидетельствующее о наличии в западной части более высоких концентраций желтого вещества. По оптическим данным рассчитаны концентрации взвеси в поверхностных водах СЗШ.

**Ключевые слова:** шельфовые воды, показатель ослабления света, желтое вещество, взвесь.

**Введение.** Оптические характеристики вод западной и восточной частей северо-западного шельфа значительно отличаются. Воды западной части СЗШ намного мутнее вследствие поступления в этот район моря большого количества речных вод (Дунай, Днепр, Днестр и др.), содержащих высокие концентрации взвеси и растворенной органики (желтое вещество). В восточную часть СЗШ поступают более прозрачные воды из Основного Черноморского течения (ОЧТ). Это происходит за счет образования в ОЧТ, в северной части моря около п-ова Крым, боковой ветви, уходящей на север, в восточную часть СЗШ.

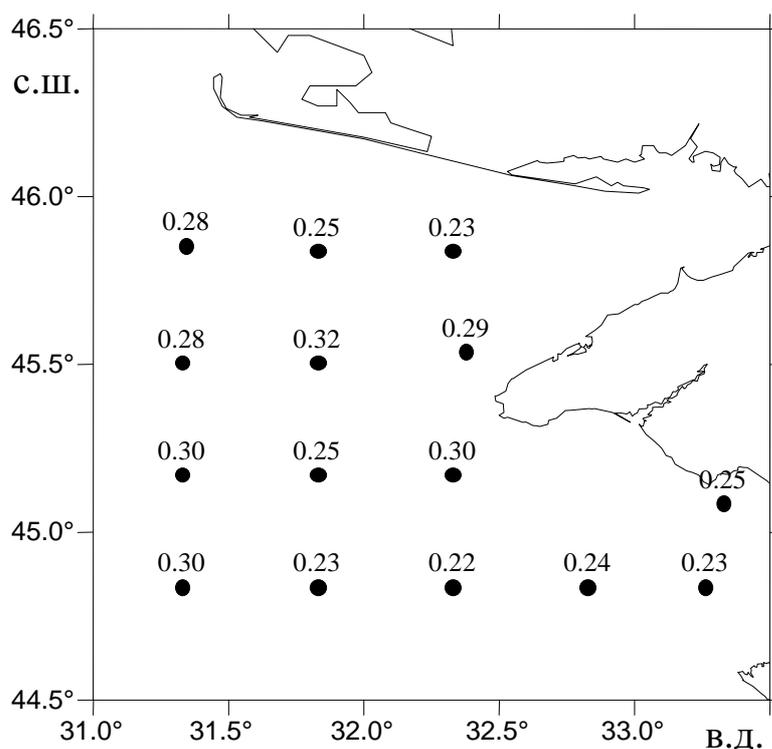
Распределение на СЗШ показателя ослабления света (ПОС) в синей области спектра (420 – 430 нм) в разные сезоны рассматривалось ранее в работах [1, 2]. В настоящей работе показаны особенности пространственного распределения ПОС в красной области спектра (640 нм), а также спектрального распределения ПОС (416 – 700 нм) в водах восточной части СЗШ в весенний период.

**Исходные данные.** В апреле 1993 и 1995 гг. (41-й рейс НИС «Профессор Водяницкий» и 33-й рейс НИС «Профессор Колесников») на полигонах в восточной части СЗШ отделом оптики моря Морского гидрофизического института АН Украины были выполнены измерения спектральных распределений ПОС. Измерения проводились лабораторным прозрачномером [3] в 16-ти участках видимой области спектра на длинах волн 416, 432, 443, 468, 490, 506, 527, 547, 567, 574, 587, 610, 625, 640, 677, 700 нм. Погрешность измерений составляла  $0,01 \text{ м}^{-1}$ , пробы воды отбирались с поверхности моря.

Для анализа пространственного распределения использовались значения ПОС на длине волны 640 нм, которые определялись на всех станциях. При сопоставлении этих значений в отдельных местах полигонов добавочно рассматривались спектральные распределения ПОС.

Отметим, что показатели ослабления света в данной работе приводятся при десятичном основании.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1, 2 показано распределение в восточной части СЗШ показателя ослабления света  $\varepsilon(640)$  в 1993 и 1995 гг. В 1993 г. он изменялся в пределах  $0,22 - 0,32 \text{ м}^{-1}$ . В 1995 г. его изменения на большей части полигона были примерно такими же, как и в 1993 г. ( $0,23 - 0,29 \text{ м}^{-1}$ ), лишь на двух станциях в Каркинитском заливе отмечены высокие значения  $0,42$  и  $0,46 \text{ м}^{-1}$ . Такое увеличение  $\varepsilon(640)$  в Каркинитском заливе в 1995 г. было обусловлено взмучиванием на мелководье донных осадков сильным волнением, вызванным в период наблюдений штормовым ветром.

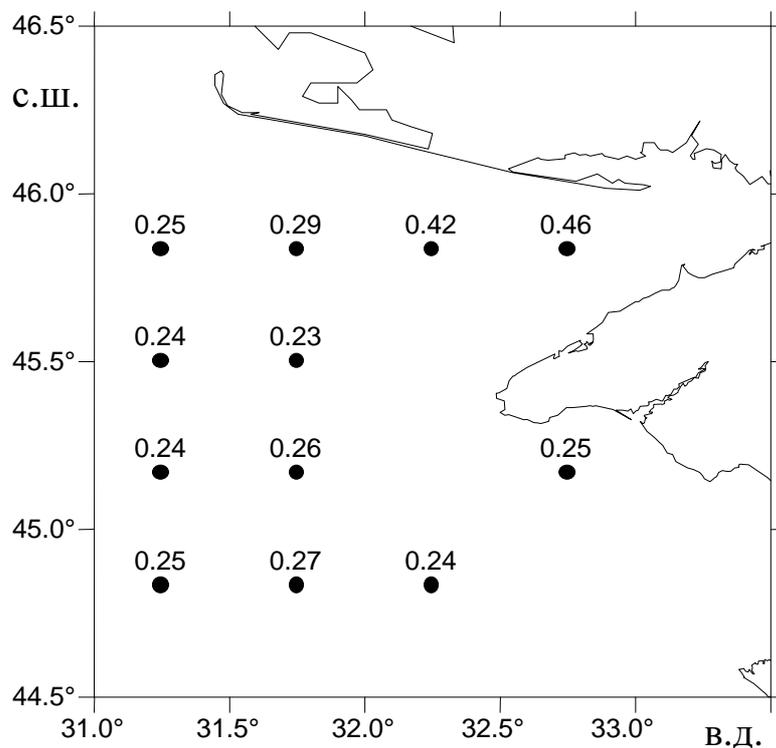


**Р и с. 1.** Распределение показателя ослабления света  $\varepsilon(640)$  в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1993 г.

В 1993 и 1995 гг. наиболее низкие значения ПОС наблюдались как в южной части полигонов, куда поступают воды ОЧТ, так и в северной. В 1993 г. они составляли в южной части  $0,22 - 0,25 \text{ м}^{-1}$ , в северной  $0,23 - 0,25 \text{ м}^{-1}$ , в 1995 г. – в южной части  $0,24 - 0,25 \text{ м}^{-1}$ , в северной  $0,23 - 0,25 \text{ м}^{-1}$ .

Среди низких значений ПОС в южной части полигона весной 1993 г. следует отметить минимальное  $0,22 \text{ м}^{-1}$  на станции в точке  $44^{\circ}50' \text{ с. ш.}; 32^{\circ}20' \text{ в. д.}$  Оно связано с образовавшимся в этом районе мезомасштабным антициклоническим вихрем, центр которого, по расчетам динамическим методом, находился в точке с координатами  $44^{\circ}36' \text{ с. ш.}; 32^{\circ}24' \text{ в. д.}$

В центральной области таких вихревых образований происходит опускание вод, вследствие чего в поверхностных слоях наблюдается дефицит биогенных веществ, сдерживающий развитие фитопланктона. Следствием этого является повышение прозрачности воды.



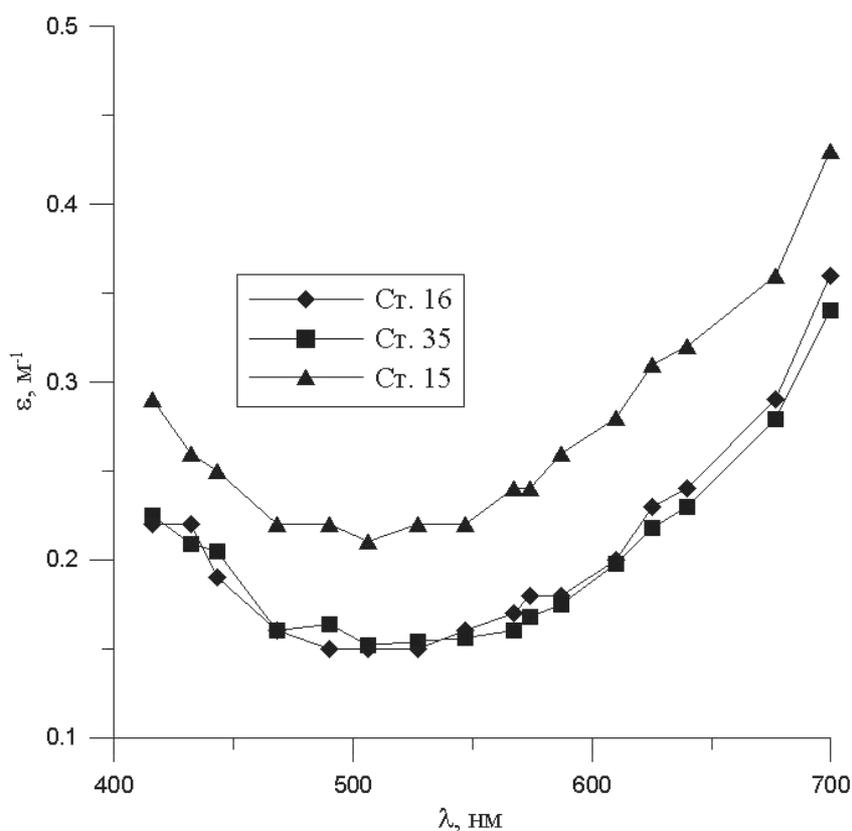
Р и с. 2. Распределение ПОС  $\epsilon(640)$  в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1995 г.

На рис. 1 видна особенность в распределении показателя ослабления света, наблюдавшаяся в 1993 г. и состоящая в том, что прозрачные воды северной и южной частей полигона были разделены более мутными шельфовыми водами с  $\epsilon(640) = 0,28 - 0,32 \text{ м}^{-1}$ . Возможной причиной образования такой синоптической ситуации мог быть пульсирующий характер поступления вод из ОЧТ на шельф.

В 1995 г. (рис. 2) в поле более прозрачных вод с  $\epsilon(640) = 0,23 - 0,25 \text{ м}^{-1}$ , простирающемся на полигоне с юга на север, наблюдалась лишь небольшая аномалия в южной части на  $31^{\circ}45'$  в. д., где на двух станциях значения ПОС составляли  $0,26 - 0,27 \text{ м}^{-1}$ .

Одинаково низкие значения  $\epsilon(640)$  в северной и южной частях полигонов указывают на то, что воды ОЧТ достигали широты  $45^{\circ}50'$  практически без изменения своих оптических характеристик. Это подтверждают спектральные распределения ПОС.

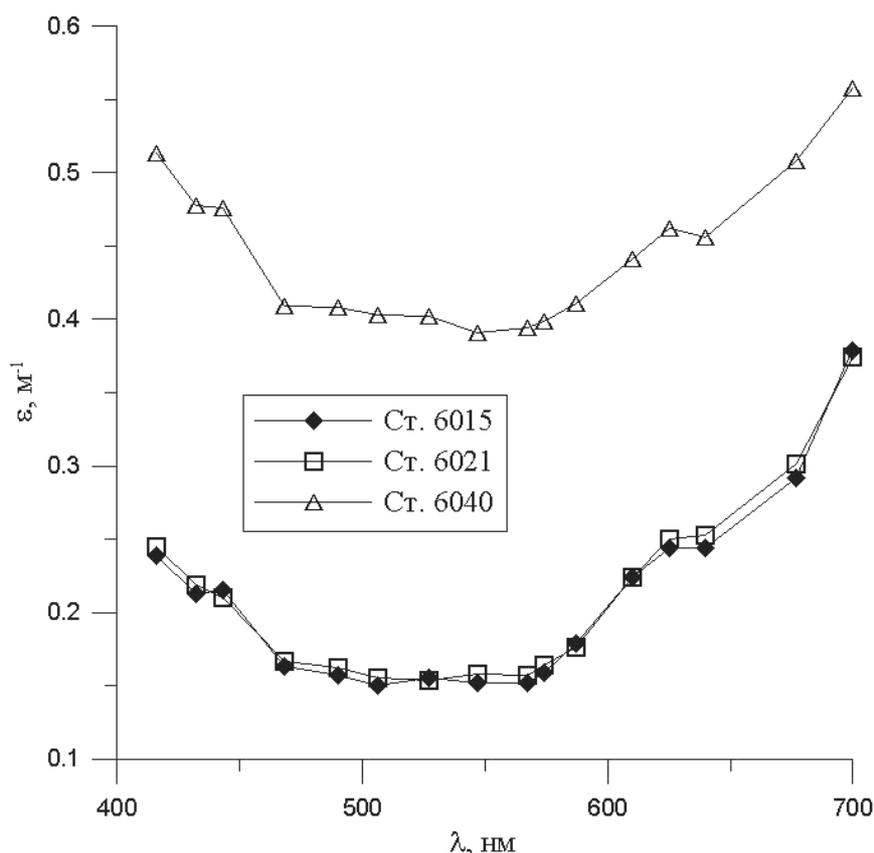
На рис. 3 и 4 показаны спектры ПОС в 1993 и 1995 гг. в водах с низкими значениями  $\varepsilon(640)$  в северной части полигонов на широте  $45^{\circ}50'$  (ст. 16 на рис. 3, ст. 6021 на рис. 4) и в южной части на широте  $44^{\circ}50'$  (ст. 6015 на рис. 4), а также южнее, в водах ОЧГ, на широте  $44^{\circ}10'$  (ст. 35 на рис. 3). Как видно из рисунков, форма спектральных распределений и спектральные значения ПОС в сравниваемых водах практически одинаковы. Это не означает, что ОЧГ доходило до  $45^{\circ}50'$  с. ш. без смешения с шельфовыми водами. В 1993 г., по гидрологическим данным, соленость вод от южной части полигона к северной уменьшилась с 18,2 до 17,7‰, то есть примерно на 3%. В предположении, что в таком же соотношении изменились и оптические характеристики вод, увеличение ПОС при его значении в южной части полигона  $0,24 \text{ м}^{-1}$  должно составить  $\sim 0,007 \text{ м}^{-1}$ . Такое увеличение находится в пределах возможной ошибки измерений, и в изменчивости ПОС это практически могло не проявиться.



Р и с. 3. Спектральное распределение ПОС в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1993 г. на ст. 15 ( $45^{\circ}30'$  с. ш.;  $31^{\circ}50'$  в. д.), ст. 16 ( $45^{\circ}50'$  с. ш.;  $31^{\circ}50'$  в. д.) и ст. 35 ( $44^{\circ}10'$  с. ш.;  $33^{\circ}20'$  в. д.)

На рис. 3 приведен спектр ПОС в 1993 г. на широте  $45^{\circ}30'$  (ст. 15) в шельфовых водах, характеризующихся более высокими значениями показателя ослабления. На рис. 4 показан спектр ПОС в 1995 г. (ст. 6040) в водах

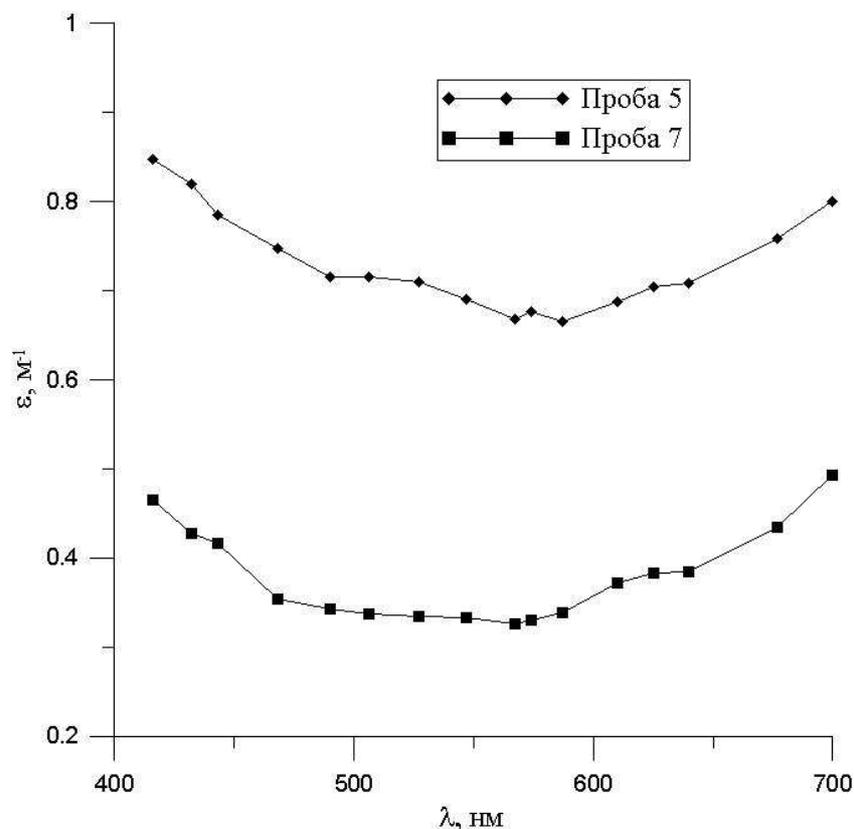
Каркинитского залива, замутненных донными осадками, поднятыми волнением во время шторма. При одинаковой в целом форме всех приведенных спектров между ними есть определенное отличие, заключающееся в положении спектрального минимума. В мутных водах Каркинитского залива (1995 г.) спектральный минимум находится на длине волны 547 нм, в других водах – на длине волны 506 нм. Такое смещение спектрального минимума в водах Каркинитского залива свидетельствует о том, что в них была выше концентрация желтого вещества. Известно, что повышение концентрации желтого вещества в воде приводит к смещению спектрального минимума ПОС в длинноволновую область [4].



**Р и с. 4.** Спектральное распределение ПОС в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1995 г. на ст. 6015 (44°50′ с. ш.; 32°15′ в. д.), ст. 6021 (45°50′ с. ш.; 31°15′ в. д.) и ст. 6040 (45°50′ с. ш.; 32°45′ в. д.)

На рис. 5 приведены спектральные характеристики ПОС, измеренные в ноябре 1994 г. (31А рейс НИС «Профессор Колесников») в западной части СЗШ. Спектры характеризуются высокими значениями ПОС и положением спектрального минимума в области длин волн 567 – 587 нм, что является следствием высоких концентраций желтого вещества, поступающего в море с речными водами. Характерным проявлением высокой концентрации в воде

желтого вещества, сильно поглощающего свет в коротковолновой части спектра, является подъем левого «крыла» спектра по сравнению с правым, что наглядно проявилось на спектре для пробы 5 (рис. 5). В водах с невысокой концентрацией желтого вещества левое «крыло» спектра всегда ниже правого.



Р и с. 5. Спектральное распределение ПОС в поверхностных водах западной части СЗШ в ноябре 1994 г. на 46°12' с. ш.; 31°04' в. д. (проба 5) и на 45°49' с. ш.; 31°14' в. д. (проба 7)

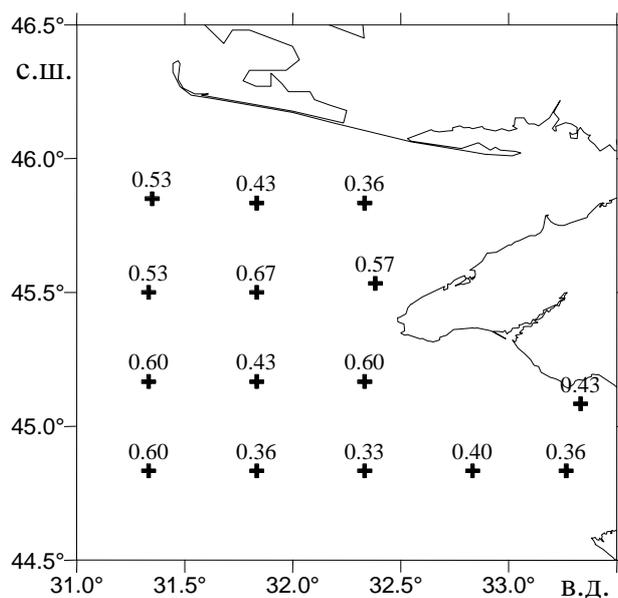
Важным показателем оптического состояния вод является концентрация в них взвешенного вещества. В связи с этим были рассчитаны концентрации взвеси в поверхностных водах шельфа. В расчетах использовалось эмпирическое соотношение для вод Черного моря из работы [5]:

$$C, \text{ мг/л} = 3,4 \varepsilon(640) - 0,42. \quad (1)$$

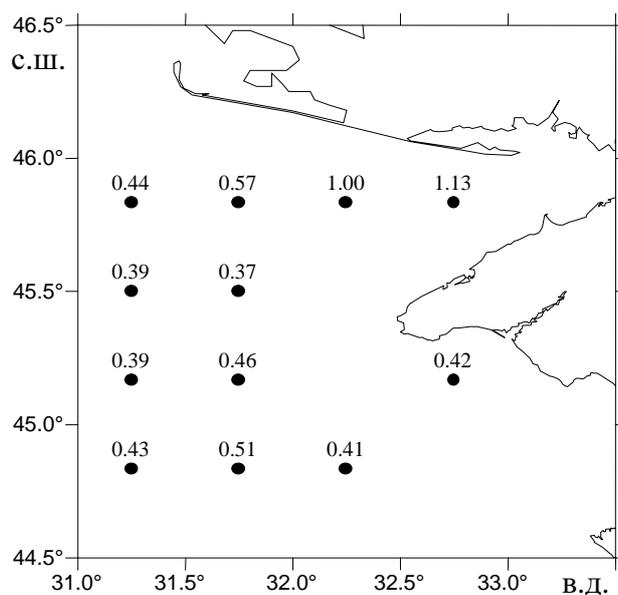
Результаты показаны на рис. 6 и 7. Диапазон изменения концентрации взвеси на полигонах составил 0,33 – 0,67 мг/л в 1993 г., 0,39 – 0,57 мг/л в 1995 г. (без станций в Каркинитском заливе, выполненных во время шторма, на которых концентрация взвеси была равна 1,0 и 1,13 мг/л).

В западной части СЗШ в двух точках моря, положение которых указано в подписи к рис. 5, согласно формуле (1), концентрация взвеси равна 0,89 и

1,99 мг/л. По данным [1, рис. 3, а], в декабре 1987 г. в указанных точках концентрация взвеси составляла ~ 0,5 и 1,0 мг/л.



**Р и с. 6.** Концентрация взвеси (мг/л) в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1993 г.



**Р и с. 7.** Концентрация взвеси (мг/л) в поверхностных водах восточной части СЗШ в апреле 1995 г.

### Заключення.

1. Выполнен анализ данных измерений спектральных распределений ПОС в поверхностных водах восточной части СЗШ Черного моря весной 1993 и 1995 гг., показавший, что воды ОЧТ, поступающие с юга в этот район, доходят практически без изменения своих оптических свойств до широты  $45^{\circ}50'$ .

2. Проведено сравнение спектральных распределений ПОС в восточной и западной частях СЗШ, свидетельствующее о наличии в водах западной части более высоких концентраций желтого вещества.

3. По оптическим данным рассчитаны концентрации взвеси в поверхностных водах шельфа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кукушкин А.С., Агафонов Е.А., Буракова З.П., Еремеева Л.В. Изменчивость прозрачности и содержания взвешенного вещества в поверхностном слое северо-западной части Черного моря // *Океанология*. – 2004. – 44, № 6. – С. 870 – 881.
2. Кукушкин А.С., Воскресенская Е.Н., Маслова В.Н. Особенности формирования поля прозрачности в поверхностном слое северо-западной части Черного моря в зимне-весенний период // *Оптика атмосферы и океана*. – 2010. – 23, № 8. – С. 730 – 736.
3. Маньковский В.И., Кайгородов М.Н. Лабораторный автоколлимационный прозрачномер с переменной базой // *Автоматизация научных исследований морей и океанов / 5-я Всесоюз. школа*. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1980. – С. 91 – 92.
4. Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // *Оптика океана. Т.1. Физическая оптика океана*. – М.: Наука, 1983. – С. 208 – 236.
5. Маньковский В.И., Соловьев М.В. Связь показателя ослабления излучения с концентрацией взвеси в водах Черного моря // *Морской гидрофизический журнал*. – 2003. – № 2. – С. 60 – 65.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
Севастополь

Материал поступил  
в редакцию 21.01.11  
После доработки 17.02.11

АНОТАЦІЯ Наводяться дані вимірювань спектральних розподілів показника послаблення спрямованого світла  $\varepsilon(\lambda)$  в поверхневих водах східної частини північно-західного шельфу (ПЗШ) Чорного моря навесні 1993 і 1995 рр. Встановлено, що води Основної Чорноморської течії, які надходять в цей район з півдня, доходять практично без зміни своїх оптичних властивостей до широти  $45^{\circ}50'$ , роблячи істотний вплив на оптичні характеристики вод даного району. Проведено порівняння спектральних розподілів  $\varepsilon(\lambda)$  у водах східної та західної частин ПЗШ, що свідчить про наявність у західній частині більш високих концентрацій жовтої речовини. На основі оптичних даних розраховані концентрації суспензії в поверхневих водах ПЗШ.

**Ключові слова:** шельфові води, показник послаблення світла, жовта речовина, суспензія.

ABSTRACT Measurement data on spectral distributions of the beam attenuation coefficient  $\varepsilon(\lambda)$  in surface waters in the eastern part of the Black Sea northwest shelf (NWS) in spring, 1993 and 1995 are represented. It is found that the Rim Current waters coming to this region from the south reach  $45^{\circ}50'$  N practically with no changes in their optical characteristics, thus effecting substantially optical characteristics of the waters in this region. Spectral distributions of  $\varepsilon(\lambda)$  in the waters of the eastern and western parts of NWS are compared. Higher concentrations of yellow substance in the western part are revealed. Based on the optical data, suspended matter concentrations in NWS surface waters are calculated.

**Keywords:** shelf waters, beam attenuation coefficient, yellow substance, suspended matter.