

В.И.Маньковский, Е.В.Маньковская

*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь*

### **ОПТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОМ ВИХРЕ**

Представлены данные об оптических характеристиках Севастопольского антициклонического вихря – оптически нормального и аномального. Характерной оптической чертой антициклонических вихрей является высокая прозрачность их вод. Однако в некоторых случаях в Севастопольском антициклоническом вихре наблюдается оптическая аномалия – прозрачность воды в нем ниже по сравнению с окружающими вихрь водами. Показано, что причиной появления оптической аномалии в вихре является захват им шельфовых вод. Подобная ситуация отмечается многократно по данным многолетних оптических наблюдений. В результате этого на карте среднесезонных величин показателя ослабления света в районе Севастопольского антициклона наблюдается область повышенных значений. Такое взаимодействие Севастопольского антициклонического вихря с водами северо-западного шельфа подтверждается результатами математического моделирования циркуляции вод в данном районе, а также данными современных контактных измерений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *антициклонический вихрь, показатель ослабления света, индикатриса рассеяния света, оптическая аномалия*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-48-53

**Введение.** Важным элементом общей циркуляции вод в Черном море являются квазистационарные антициклонические вихри (АЦВ), образующиеся между Основным черноморским течением и берегом [1]. Антициклонический вихрь, образующийся около Крымского п-ова, к западу от него, называют Севастопольский. По повторяемости и интенсивности Севастопольский АЦВ занимает второе место после Батумского АЦВ [1, с.136-145].

Характерной оптической чертой антициклонических вихрей является высокая прозрачность в них воды. Это является следствием опускания вод в АЦВ, в результате которого в них мало биогенных веществ, необходимых для развития фитопланктона, и его концентрация низка. Фитопланктон вносит основной вклад в ослабление света, и снижение его концентрации приводит к повышению прозрачности воды.

Однако в некоторых случаях в Севастопольском АЦВ наблюдается оптическая аномалия – прозрачность воды в нем ниже по сравнению с окружающими вихрь водами. Это происходит в тех случаях, когда вихрь подходит близко к северо-западному шельфу и затягивает в себя мутные шельфовые воды.

В данной статье рассматриваются оптические характеристики вод в обычном и оптически аномальном Севастопольском антициклоне, наблюдавшиеся в апреле 1993 г. и в октябре 1992 г.

© В.И.Маньковский, Е.В.Маньковская, 2019

*Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.1. С.48-53.*

Т а б л и ц а 1. Технические характеристики прозрачномера и нефелометра.

характеристика	значение
прозрачномер	
спектральный диапазон измерения, нм	416 – 677
число спектральных каналов, шт	13
погрешность измерения, м <sup>-1</sup>	0,02
объем кюветы, л	1,0
нефелометр	
углы измерений $\sigma(\Theta)$ , градусы	2;7,5..(5).. 162,5
спектральная область измерений, нм	520 (+/- 40)
погрешность измерений $\sigma(\Theta)$ , %	10
максимальная глубина погружения, м	150

**Аппаратура и методика измерений.** Показатель ослабления направленного света  $\varepsilon$  измерялся прозрачномером [2], индикатриса рассеяния света  $\sigma(\theta)$  – нефелометром [3]. По измерениям индикатрисы рассеяния света рассчитывалась концентрация взвеси. В табл.1 приведены технические характеристики прозрачномера и нефелометра. Измерения выполнялись в пробах воды, отбравшихся с поверхности моря.

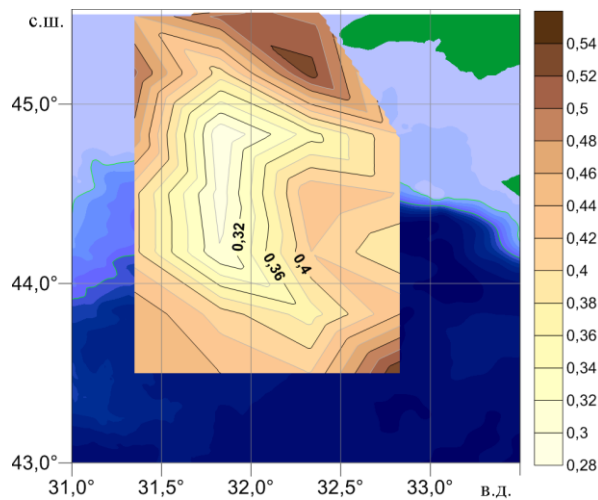
**Расчет концентрации взвеси** производился по методике из работы [4], где приведены формулы расчета по показателям рассеяния света концентрации частиц для трех фракций с радиусами:  $r = 0,2 - 0,5$  мкм и  $r = 0,5 - 1,0$  мкм (мелкая взвесь),  $r > 1,0$  мкм (крупная взвесь). Мелкая фракция представлена минеральными частицами, крупная фракция – органическими. При расчете массовой концентрации плотность минеральных частиц принимают равной  $2 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ , плотность органических  $1 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ . Общая концентрация взвеси рассчитывается как сумма концентраций мелких и крупных частиц  $C_{\text{общ}} = C_{\text{м}} + C_{\text{к}}$ . В табл.2 приведены коэффициенты расчета численности частиц  $N$  и их массовой концентрации  $C$  по формуле:

$$N(C) = m \cdot \sigma(\theta) + n.$$

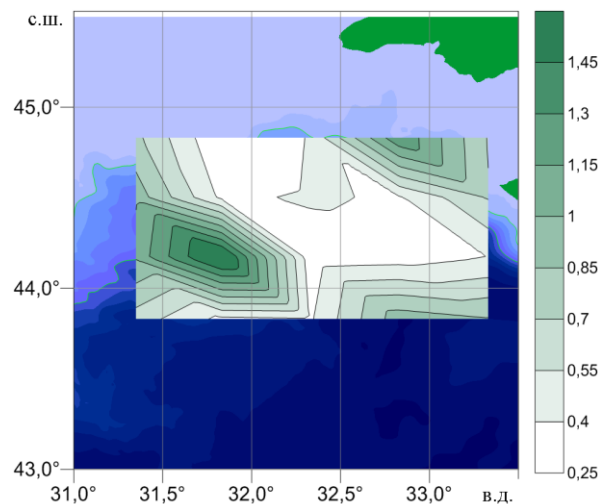
**Результаты измерений и их обсуждение.** *Обычный антициклон.* Измерения выполнены в апреле 1993 г. На рис.1 показано распределение показателя ослабления света на полигоне, на котором наблюдался антициклоничес-

Т а б л и ц а 2. Значения коэффициентов регрессии  $m$ ,  $n$  и среднеквадратических относительных ошибок  $\delta$  определения параметров взвеси.

радиус частиц $r$ , мкм	угол рассеяния $\theta$ , °	численность частиц $N$ , млн/л			массовая концентрация $C$ , мг/л		
		$m$	$n$	$\delta N$	$m$	$n$	$\delta C$
0,2 – 0,5	45,0	$3 \cdot 10^4$	- 1,0	0,29	$8,9 \cdot 10^3$	- 3,0	0,16
0,5 – 1,0	6,0	9,5	0,2	0,14	24,0	0,5	0,14
> 1,0	1,0	0,2	0,3	0,35	12,0	16,0	0,20



Р и с . 1 . Распределение показателя ослабления света  $\epsilon(547)$  ( $\text{м}^{-1}$ ) в поверхностном слое вод в районе Севастопольского АЦВ. 41-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», апрель 1993 г.



Р и с . 2 . Распределение концентрации хлорофилла в поверхностных водах. Апрель 1993 г.

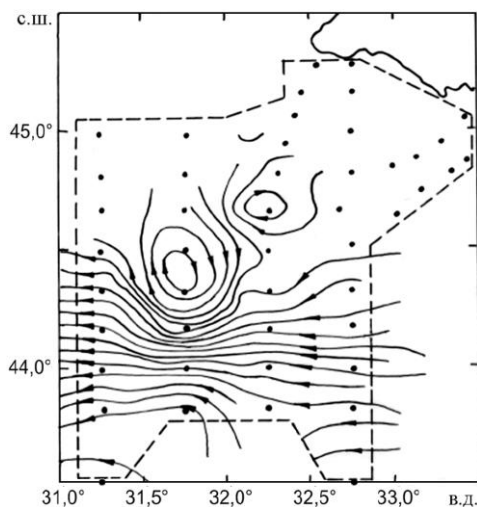
фоновых вод в нем наблюдались высокие величины показателя ослабления света (рис.5). Северная часть антициклона заполнена водами с показателями ослабления  $\epsilon(547) = 0,6 - 0,9 \text{ м}^{-1}$ , в южной части и окружающих водах  $\epsilon(547) = 0,5 - 0,6 \text{ м}^{-1}$ . Таким образом, распределение показателя ослабления в антициклоне было аномальным по сравнению с обычным распределением в антициклоне.

Поступление шельфовых вод в антициклон сказалось и на содержании в нем концентрации взвеси (рис.6). В северной части антициклона концентра-

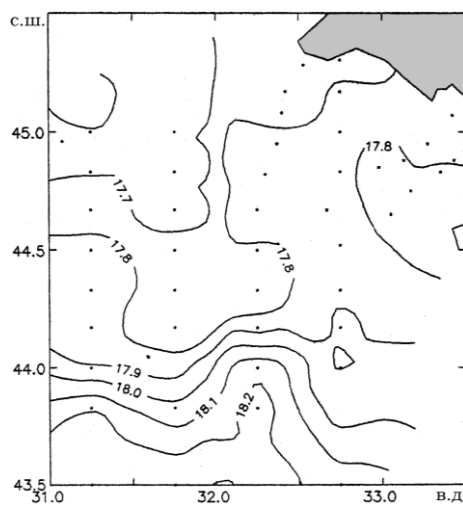
кий вихрь. В центре антициклона показатели ослабления в 1,5 раза ниже по сравнению с таковыми на его периферии, что характерно для обычного антициклона. Низкие величины показателя ослабления в антициклоне свидетельствуют о низкой концентрации фитопланктона в его водах. Это подтверждается распределением концентрации хлорофилла (рис.2). В водах антициклона концентрация хлорофилла в 3 – 4 раза ниже.

*Оптически аномальный антициклон.* Измерения выполнены в октябре 1992 г. На рис.3 показаны течения на полигоне, рассчитанные динамическим методом относительно глубины 300 м. Кроме основного (Севастопольского) антициклона, к северо-востоку от него находился еще небольшой антициклон.

На карте течений видно, что в северную часть основного антициклона идет течение со стороны северо-западного шельфа моря. Поступление шельфовых вод в антициклон показывает и распределение солености поверхностных вод (рис.4). В результате поступления в антициклон мутных шель-



Р и с . 3 . Поверхностные течения в районе Севастопольского АЦВ. 55-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», октябрь 1992 г.

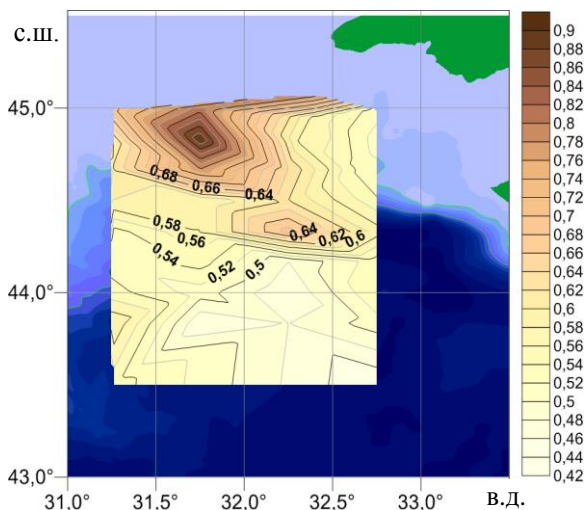


Р и с . 4 . Распределение солености в поверхностных водах. Октябрь 1992 г.

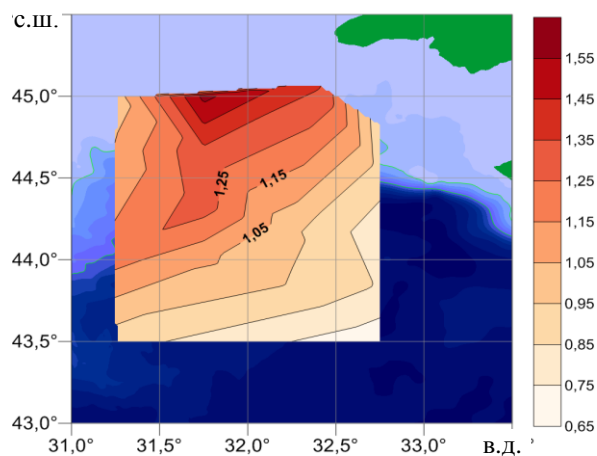
ция взвеси примерно в 1,5 раза выше по сравнению с южной частью и с водами на периферии.

Данные многолетних (1976 – 1985 гг., июнь – сентябрь) оптических наблюдений показывают, что захват Севастопольским АЦВ вод северо-западного шельфа происходил многократно. В результате этого на карте среднеемноголетнего распределения показателя ослабления света в поверхностных водах в месте нахождения Севастопольского антициклона находится область повышенных значений. Так, в районе АЦВ  $\epsilon(422) = 0,60 - 0,65 \text{ м}^{-1}$ , в близлежащих окружающих водах  $\epsilon(422) = 0,55 - 0,60 \text{ м}^{-1}$  [5, с.59].

Такое взаимодействие Севастопольского АЦВ с водами северо-западного шельфа подтверждается гидрологическими данными. Математическое моделирование циркуляции вод на северо-западном шельфе [1, с.129-135]. показывает, что «система течений Дунайского и Севастопольского антициклонов способствует выносу вод шельфа в открытое море



Р и с . 5 . Распределение показателя ослабления света  $\epsilon(547) (\text{м}^{-1})$  в поверхностном слое вод в районе Севастопольского АЦВ. 55-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», октябрь 1992 г.



Р и с . 6 . Распределение концентрации взвеси в поверхностных водах. Октябрь 1992 г.

по их восточной периферии, что подтверждается натурными наблюдениями» [1, с.135].

Данные современных контактных измерений также отмечают аналогичные ситуации. В [6] представлены результаты исследования структуры вод в зоне Основного черноморского течения в октябре и ноябре – декабре 2016 г. Авторами отмечено, что в октябре «судя по конфигурации изохалины 18,15 ‰, СА (Севастопольский антициклон)

захватывал распресненные воды северо-западного шельфа».

**Заключение.** Наблюдающееся anomальное распределение прозрачности воды в области Севастопольского антициклонического вихря обусловлено динамикой вод в этом районе моря, в результате которой иногда вихрь своей северной частью выходит на шельф и затягивает в свою область мутные шельфовые воды. По данным многолетних оптических наблюдений это происходило многократно, в результате чего на карте среднемноголетних величин в районе Севастопольского АЦВ наблюдается область повышенных значений показателя ослабления света.

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по темам № 0827-2018-0002 и № 0827-2018-0004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.А., Белокопытов В.Н.* Океанография Черного моря.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– 212 с.
2. *Маньковский В.И.* Спектральный лабораторный прозрачномер с переменной базой // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2012.– С.56-60.
3. *Маньковский В.И.* Морской импульсный нефелометр // Приборы для научных исследований и системы автоматизации в АН УССР.– Киев: Наукова думка, 1981.– С.87-89.
4. *Копелевич О.В., Маштаков Ю.А., Буренков В.И.* Исследование вертикальной стратификации рассеивающих свойств морской воды // Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане.– М.: Наука, 1975.– С.54-60.
5. *Маньковский В.И., Соловьев М.В., Маньковская Е.В.* Гидрооптические характеристики Черного моря. Справочник.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– 90 с.
6. *Артамонов Ю.В., Алексеев Д.В., Скрипалева Е.А., Шутов С.А., Дерюшкин Д.В., Завьялов Д.Д., Колмак Р.В., Шаповалов Р.О., Шаповалов Ю.И., Федирко А.В., Щербаченко С.В.* Особенности сезонной и синоптической изменчивости структуры вод в зоне основного черноморского течения в осенне-зимний период

2016 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2018.– вып.1.– С.32-43.

Материал поступил в редакцию 09.11.2018 г.

V.I.Mankovsky, E.V.Mankovskaya

#### OPTICAL ANOMALIES IN THE SEVASTOPOL ANTICYCLONIC EDDY

The optical characteristics of the Sevastopol anticyclonic eddy are presented. The normal and anomalous optical situations are considered. High water transparency is the characteristic optical feature of anticyclonic eddies. However, in some cases an optical anomaly is observed in Sevastopol anticyclonic eddy, when water transparency is lower than in surrounding waters. It is shown that the cause of the optical anomaly is the capture of shelf waters inside the eddy. This situation is observed repeatedly according to long-term optical observations. As a result, the increased climatic values of beam attenuation coefficient in the region of Sevastopol anticyclonic eddy are observed. This interaction between Sevastopol anticyclonic eddy and the waters of northwestern shelf is confirmed by the results of mathematical modelling of water circulation in the study area, and by data of recent contact measurements.

**KEYWORDS:** anticyclonic eddy, beam attenuation coefficient, light scattering phase functions, optical anomalies