

Пространственная изменчивость оптических характеристик вод в южной части Средиземного моря в весенний период (май 1998 года)

В. И. Маньковский*, Е. В. Маньковская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
**E-mail: Mankovskiy@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 11.07.2019 г., после доработки – 13.09.2019 г.

Цель. Целью исследования являлось изучение пространственной изменчивости оптических свойств средиземноморских вод, а также пополнение базы данных сведениями о необходимых при построении региональных гидрооптических моделей оптических характеристиках вод.

Методы и результаты. В работе использованы данные об оптических характеристиках вод южной части Средиземного моря, полученные по попутным измерениям во 2-м рейсе НИС «Горизонт» в мае 1998 г. В пробах воды, отбравшихся из поверхностных слоев моря, измерялись спектральные показатели ослабления света и индикатрисы рассеяния. Рассмотрена и проанализирована пространственная изменчивость гидрооптических характеристик в море от Гибралтарского пролива до пролива Дарданеллы. Получено уравнение связи коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния света с показателем рассеяния в средиземноморских водах.

Выводы. Получены данные, характеризующие пространственную изменчивость оптических свойств вод южной части Средиземного моря в весенний сезон. Показатели ослабления и рассеяния света в поверхностных водах постепенно уменьшаются по направлению от западной части Средиземного моря к восточной. В Эгейском море около пролива Дарданеллы зафиксированы воды Мраморного моря, отличающиеся высокими значениями показателей ослабления и рассеяния света. Индикатрисы рассеяния света в водах Средиземного моря по величине основных параметров аналогичны индикатрисам в тропических водах Атлантического океана. В водах Средиземного моря, как и в других водных бассейнах, наблюдается связь коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния света с показателем рассеяния, проявляющаяся в возрастании асимметрии индикатрисы при увеличении показателя рассеяния.

Ключевые слова: оптические характеристики, показатель ослабления, индикатриса рассеяния, фитопланктон, желтое вещество.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

Для цитирования: Маньковский В. И., Маньковская Е. В. Пространственная изменчивость оптических характеристик вод в южной части Средиземного моря в весенний период (май 1998 года) // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. С. 53–65. doi:10.22449/0233-7584-2020-1-53-65

Spatial Variability of Water Optical Characteristics in the Southern Mediterranean Sea in Spring (May, 1998)

V. I. Mankovsky*, E. V. Mankovskaya

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

**e-mail: Mankovskiy@mhi-ras.ru*

Purpose. The aim of the paper is to study spatial variability of the Mediterranean Sea water optical features as well as to supply the database with additional information on the water optical characteristics required for constructing the regional hydrooptical models.

Methods and Results. The data on optical characteristics of the southern Mediterranean Sea waters resulted from the passing measurements in the 2nd cruise of R/V “Gorizont” in May, 1998 are used in the study. In the water samples from the sea surface layers, the spectral coefficients of beam attenuation and light scattering phase function were measured. Spatial variability of the seawater hydrooptical characteristics from the Strait of Gibraltar to the Dardanelles is considered and analyzed. The equation for the relationship between the asymmetry coefficient of the scattering phase function and the scattering coefficient in the Mediterranean Sea waters is obtained.

Conclusions. The data characterizing spatial variability of the southern Mediterranean Sea water optical features in spring are obtained. The coefficients of beam attenuation and scattering in the surface waters decrease gradually from the western Mediterranean Sea to its eastern part. In the Aegean Sea near the Dardanelles, the Marmora Sea waters differing by their high coefficients of beam attenuation and scattering were observed. As for the basic parameters, the scattering phase functions in the Mediterranean Sea waters are similar to those in the Atlantic tropical waters. In the Mediterranean Sea waters as well as in the other water basins, the relationship between the asymmetry coefficient of the light scattering phase function and the scattering coefficient is observed; it is manifested in increase of the phase function asymmetry coefficient with the scattering coefficient.

Keywords: optical characteristics, beam attenuation coefficient, light scattering phase function, phytoplankton, yellow matter.

Acknowledgments: the investigation was carried out within the framework of the state task on themes No. 0827-2019-0002 and No. 0827-2019-0004.

For citation: Mankovsky, V.I. and Mankovskaya, E.V., 2020. Spatial Variability of Water Optical Characteristics in the Southern Mediterranean Sea in Spring (May, 1998). *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(1), pp. 48-59. doi:10.22449/1573-160X-2020-1-48-59

Введение

Исследование гидрооптических характеристик вод Средиземного моря является актуальной задачей в океанологии. Такие работы выполняются в течение многих лет в рамках международных программ *ПОЕМ (Physical Oceanography of the Eastern Mediterranean)*, *CIESM (The Mediterranean Science Commission, or Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée)*, *MEDCOAST (Mediterranean Coastal Foundation)* [1–4].

С 1972 г. в исследования оптических свойств средиземноморских вод по национальным программам «Мировой океан», «Спутниковая океанология» включился Морской гидрофизический институт (МГИ). С 1972 по 1992 гг. МГИ провел оптические исследования в Средиземном море в 13 экспедициях. Сводная информация об этих экспедициях дана в работе [5].

В результате этих исследований были получены обширные данные об оптических свойствах вод Средиземного моря: спектральных показателях ослабления света, индикатрисах рассеяния, индексе цвета, коэффициентах яркости водной толщи, относительной прозрачности (глубина видимости белого диска) [5–11]. Большинство этих данных относится к восточной части моря.

В мае 1998 г. во 2-м рейсе НИС «Горизонт», следовавшего из Севастополя в Лиссабон на международную океанографическую выставку «ЭКСПО-98» Морским гидрофизическим институтом по программе «Спутниковая океанология» были проведены попутные измерения оптических характеристик вод в южной части Средиземного моря. Целью исследования являлось изучение пространственной изменчивости оптических свойств средиземноморских вод, а также пополнение базы данных сведениями о необходимых при построении региональных гидрооптических моделей оптических характеристиках вод.

В пробах воды, отбиравшихся из поверхностных слоев моря, проводились следующие измерения: определение спектральных показателей ослабления света и измерение индикатрис рассеяния. В результате были получены данные об оптических характеристиках поверхностных вод от Гибралтарского пролива до пролива Дарданеллы. Особенность этих данных состоит в том, что они получены в короткий срок и характеризуют пространственную изменчивость оптических свойств вод в южной части бассейна Средиземного моря в весенний сезон.

Актуальность полученной информации в настоящее время определяется развитием региональных гидрофизических моделей, верификация которых выполняется по натурным данным, в том числе архивным. Эти данные используются также для реанализа гидрофизических полей в ассимиляционных моделях; они могут применяться для сопоставления с современными данными оптических сканеров, используемых для дистанционного зондирования Средиземного моря.

Аппаратура и методика измерений

Показатель ослабления света (ПОС) измерялся прозрачномером [12] в семи участках спектра: 416, 468, 506, 567, 610, 625, 677 нм (табл. 1). Индикатриса рассеяния света измерялась нефелометром¹ на длине волны 520 нм (табл. 1). Пробы воды отбирались с поверхности моря.

¹ Маньковский В. И. Морской импульсный нефелометр // Приборы для научных исследований и системы автоматизации в АН УССР. К. : Наукова думка, 1981. С. 87–89.

Технические характеристики приборов
Technical characteristics of the devices

| Наименование параметра / The parameter name | Значение / Value |
|---|--|
| Прозрачномер / Transparency meter | |
| Спектральный диапазон измерения ПОС, нм / Spectral range of BAC measurement, nm | 416–677 |
| Число спектральных каналов, шт. / Number of spectral channels, pcs. | 13 |
| Диапазон измерения ПОС, м ⁻¹ (ln) / Range of BAC measurement, m ⁻¹ (ln) | 0,05–2,0 |
| Погрешность измерения ПОС, % / Error of BAC measurement, % | 5 |
| Нефелометр / Nephelometer | |
| Углы измерений показателя рассеяния $\sigma(\theta)$, θ , ° / Measurement angles of the scattering coefficient $\sigma(\theta)$, θ , ° | 2; 7,5; далее с шагом 5 до 162,5 / 2; 7.5 further every 5 up to 162.5 |
| Спектральная область измерений, нм / Spectral area of measurements, nm | 520 |
| Погрешность измерений, $\sigma(\theta)$, % / Error of measurements, $\sigma(\theta)$, % | 10 |

Результаты измерений и их обсуждение

На рис. 1 обозначены районы измерений оптических характеристик по маршруту следования судна. В табл. 2 дано наименование районов.

Показатель ослабления света. На рис. 2 показана величина ПОС на длине волны 416 нм в районах измерений. Характерной чертой пространственной изменчивости в части бассейна от моря Альборан до моря Леванта является постепенное уменьшение показателя ослабления $\varepsilon(416)$ от 0,368 до 0,159 м⁻¹. Уменьшение значений ε в этой части бассейна наблюдалось и на других длинах волн (табл. 3).



Р и с. 1. Маршрут 2-го рейса НИС «Горизонт» (крестиками с цифрами 1–7 обозначены районы измерений гидрооптических характеристик (табл. 2))

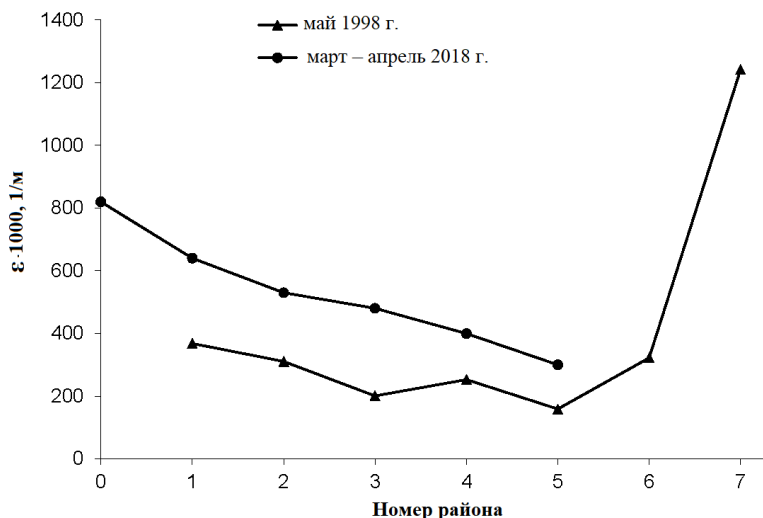
F i g. 1. Route of the 2nd cruise of R/V “Gorizont” (crosses with numbers 1–7 denote the regions where hydrooptical characteristics were measured (Table 2))

Наблюдавшиеся в северной части Эгейского моря около пролива Дарданеллы высокие значения показателя ослабления $\epsilon(416)$ ($1,242 \text{ м}^{-1}$) относятся к водам Мраморного моря, поступающим в Эгейское через пролив. Вышедшие из пролива воды Мраморного моря, имея меньшую соленость и, соответственно, меньшую плотность, чем воды Эгейского моря, распространяются в его поверхностных слоях.

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Районы измерения оптических характеристик
The regions where optical characteristics were measured

| № п/п / Number | Район Средиземного моря / The Mediterranean Sea region |
|-------------------|--|
| 1 | Море Альборан в центральной части / The Alboran Sea, the central part |
| 2 | Балеарское море в южной части / The Balearic Sea, the southern part |
| 3 | Сицилийский пролив / The Sicily Strait |
| 4 | Ионическое море в южной части / The Ionian Sea, the southern part |
| 5 | Море Леванта. Родосский антициклон / The Levantine Sea. Rhodes anticyclone |
| 6 | Эгейское море в средней части / The Aegean Sea, the middle part |
| 7 | Эгейское море около пролива Дарданеллы / The Aegean Sea near the Dardanelles |



Р и с. 2. Показатель ослабления света в разных районах Средиземного моря: $\epsilon(416)$, май 1998 г. (▲); ϵ (среднее в слое 0–200 м), март – апрель 2018 г. (●)

F i g. 2. The beam attenuation coefficient in different regions of the Mideterranean Sea, $\epsilon(416)$, May, 1998 (▲); ϵ (the average value in the 0–200 m layer), March – April, 2018 (●)

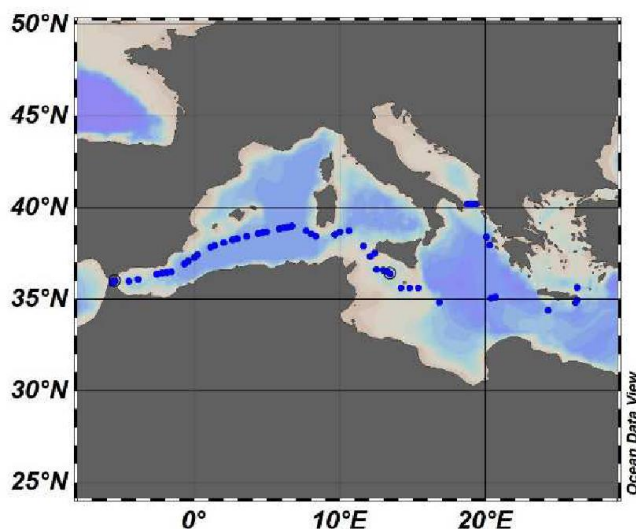
Таблица 3
Table 3

Показатель ослабления света ($\epsilon(\lambda) \cdot 10^3$) в районах измерений
The beam attenuation coefficient ($\epsilon(\lambda) \cdot 10^3$) in the regions of measurements

| Длина волны, λ , нм / Wavelength, λ , nm | $\epsilon(\lambda) \cdot 10^3, \text{m}^{-1} / \epsilon(\lambda) \cdot 10^3, \text{m}^{-1}$ | | | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | Номер района / Region number | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 416 | 368 | 311 | 201 | 253 | 159 | 322 | 1242 |
| 468 | 299 | 219 | 133 | 196 | 101 | 246 | 1047 |
| 506 | 276 | 190 | 120 | 179 | 104 | 230 | 1009 |
| 567 | 311 | 245 | 177 | 223 | 152 | 253 | 1000 |
| 610 | 478 | 404 | 361 | 391 | 322 | 414 | 1150 |
| 625 | 529 | 472 | 437 | 467 | 373 | 483 | 1200 |
| 677 | 644 | 610 | 566 | 598 | 512 | 633 | 1840 |

В Средиземном море подобная пространственная изменчивость показателя ослабления света в весенний период наблюдалась в марте – апреле 2018 г. по данным работы [3].

Маршрут судна [3] проходил от пролива Гибралтар до моря Леванта (рис. 3). По ходу маршрута выполнялись станции с зондированием до глубины 3000 м. По осредненным данным [3, рис. 2], вертикальное распределение показателя ослабления в западной и восточной частях моря было одинаковым и характеризовалось слабым изменением с глубиной.



Р и с. 3. Маршрут судна в Средиземном море в работе [3], март – апрель 2018 г. (точками показано расположение станций, на которых производились измерения показателя ослабления)
F i g. 3. The route of the vessel in the Mediterranean Sea in [3] in March – April, 2018 (the dots show location of the stations where the attenuation coefficient was measured)

В табл. 4 приведены средние значения показателя ослабления в слое 0–200 м в отдельных районах по работе [3, табл. 1]. К сожалению, в приведенной работе длина волны для показателя ослабления не указана. По значениям показателя ослабления можно сказать, что измерения производились в красной области спектра, так как по нашим данным показатели ослабления на длине волны 625 нм (табл. 3) имеют такой же порядок величин. Тем не менее главное значение имеет пространственная изменчивость показателя ослабления, приведенная в работе [3].

Данные табл. 4 показывают уменьшение показателя ослабления во всех районах от Гибралтарского пролива до восточного Средиземноморья (Ионическое море и море Леванта). В итоге значение показателя ослабления ϵ уменьшилось с 0,82 до 0,30 м⁻¹.

Т а б л и ц а 4
T a b l e 4

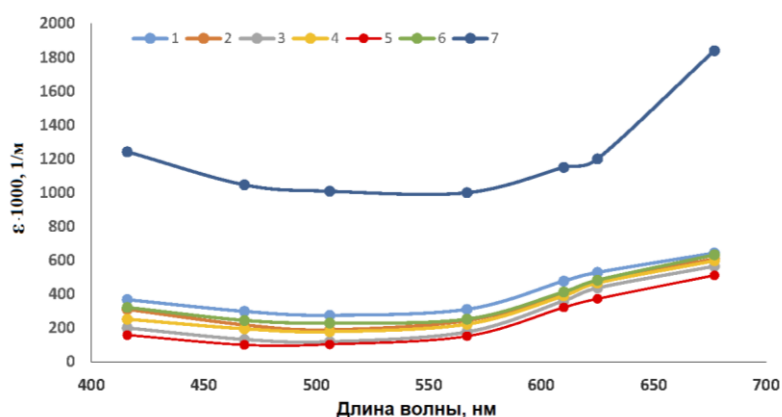
Среднее значение показателя ослабления (ϵ) в слое 0–200 м в разных районах Средиземного моря по работе [3, табл. 1]
Average value of the attenuation coefficient (ϵ) in the 0–200 m layer in different regions of the Mediterranean Sea based on [3, Table 1]

| Среднее значение показателя ослабления, ϵ , м ⁻¹ / Average value of the attenuation coefficient, ϵ , м ⁻¹ | | | | |
|--|--|----------------------|-------------------------|--|
| Гибралтар / The Strait of Gibraltar | Алжирский бассейн / The Algerian basin | Корсика / Corsica | Сицилия / the Sicily | Восточное Средиземноморье / The eastern Mediterranean Sea |
| 0,82 ± 0,10 | 0,64 ± 0,12 | 0,53 ± 0,07 | 0,48 ± 0,10 | 0,30 ± 0,09 |

Средиземное море в целом характеризуется низким содержанием питательных веществ и низким уровнем хлорофилла [13, 14]. Пространственная изменчивость показателя ослабления света в Средиземном море объясняется пространственной изменчивостью продуктивности поступающих в него через Гибралтарский пролив поверхностных североатлантических вод. Содержание биогенных веществ в этих водах мало [15, 16], и оно уменьшается по мере продвижения вод по южной части моря от пролива Гибралтар на восток вследствие потребления биогенов фитопланктоном. Поверхностные воды пополняются биогенами из глубинных вод незначительно, так как накоплению биогенных компонентов в глубинных водах моря препятствует непрерывный отток этих вод обратно в Атлантический океан через Гибралтарский пролив [15]. Вертикальный перенос существует в ограниченных фронтальных областях и немногих местах апвеллинга [14]. Вследствие этих факторов биологическая продуктивность поверхностных вод моря и, соответственно, концентрация фитопланктона в них понижаются, что и приводит к повышению прозрачности воды [17, с. 229–234].

Сказанное выше не относится к водам Эгейского моря, так как североатлантические воды в Эгейское море не поступают.

В табл. 3 и на рис. 4 приведены спектры показателя ослабления $\epsilon(\lambda)$ в разных районах Средиземного моря. Форма спектра в водах Эгейского моря около пролива Дарданеллы, где регистрировались воды Мраморного моря, отличается положением минимума $\epsilon(\lambda)_{\text{мин}}$ – в Средиземном море он находится на длинах волн 468–506 нм, в водах Мраморного моря – на 567 нм. Такое смещение минимума в спектре показателя ослабления происходит при высоких концентрациях в воде растворенного органического вещества (желтого вещества). Показатель поглощения света желтым веществом максимален в коротковолновой части спектра и с увеличением длины волны уменьшается по закону $\kappa(\lambda)_{\text{жв}} \sim e^{-\lambda}$. С увеличением концентрации желтого вещества влияние $\kappa(\lambda)_{\text{жв}}$ на возрастание показателя ослабления сказывается при все более длинных волнах, что и приводит к смещению минимума $\epsilon(\lambda)$ в длинноволновую область.



Р и с. 4. Спектральные характеристики показателя ослабления света в разных районах Средиземного моря (цифры 1–7 соответствуют номеру района)

Fig. 4. Spectral characteristics of the beam attenuation coefficient in the Mediterranean Sea different regions (numbers 1–7 correspond to the region numbers)

По данным работы [18], количество желтого вещества в Средиземном море вдвое превышает его содержание в ближайшем атлантическом секторе. Кроме того, значения показателя поглощения растворенной органикой $\kappa(442)_{\text{жв}}$ почти на 50 % выше в западной части моря, чем в восточной. Спектры 1–5 (рис. 4) отражают указанную тенденцию: за счет возрастания показателя поглощения желтого вещества по направлению с востока на запад Средиземного моря показатель ослабления света на длине волны 416 нм соответственно увеличивается.

Индикаторы рассеяния света. В табл. 5 приведены показатели рассеяния света, коэффициенты асимметрии и средние косинусы рассеяния в разных районах. Пространственная изменчивость показателя рассеяния аналогична изменчивости показателя ослабления (рис. 2). Причины такой изменчивости рассмотрены выше.

Т а б л и ц а 5
Table 5

Параметры индикатрис рассеяния света
Parameters of the light scattering phase functions

| Номер района / Region number | Показатель рассеяния, σ , 1/м / Scattering coefficient, σ , 1/m | Коэффициент асимметрии, K / Asymmetry coefficient, K | Средний косинус рассеяния, $\cos \theta$ / Average cosine of scattering, $\cos \theta$ |
|------------------------------|---|--|--|
| 1 | 0,19 | 58,7 | 0,946 |
| 2 | 0,21 | 77,8 | 0,960 |
| 3 | 0,09 | 33,9 | 0,919 |
| 4 | 0,15 | 56,0 | 0,944 |
| 5 | 0,11 | 33,9 | 0,916 |
| 6 | 0,17 | 54,6 | 0,944 |
| 7 | 0,27 | 38,5 | 0,906 |

В табл. 6 приведены минимальные и максимальные значения параметров индикатрис, наблюдавшиеся в Средиземном море, и для сравнения – аналогичные параметры индикатрис в водах Тропической Атлантики [19]. Сравнение показывает близость значений всех параметров.

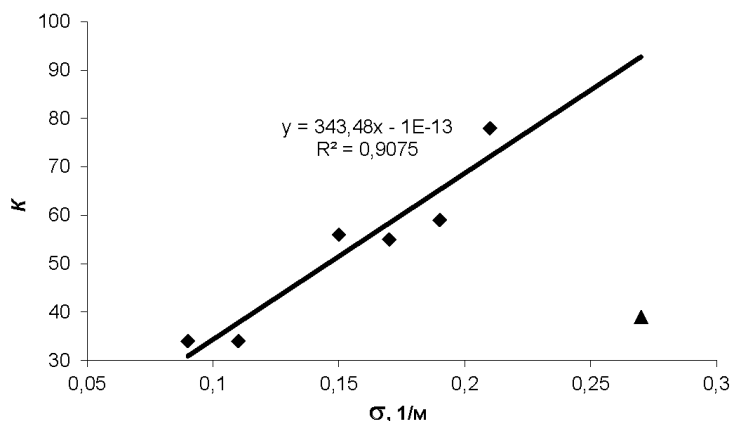
Т а б л и ц а 6
Table 6

Диапазон значений параметров индикатрис, наблюдавшихся в Средиземном море и в водах Тропической Атлантики [15]
Range of the values of the phase function parameters' observed in the Mediterranean Sea and the Tropical Atlantic [15]

| Район / Region | Показатель рассеяния, σ , 1/м / Scattering coefficient, σ , 1/m | Коэффициент асимметрии, K / Asymmetry coefficient, K | Средний косинус рассеяния, $\cos \theta$ / Average cosine of scattering, $\cos \theta$ |
|---|---|--|--|
| Средиземное море / the Mediterranean Sea | 0,09–0,21 | 34–78 | 0,916–0,960 |
| Тропическая Атлантика / the Tropical Atlantic | 0,09–0,25 | 34–77 | 0,927–0,962 |

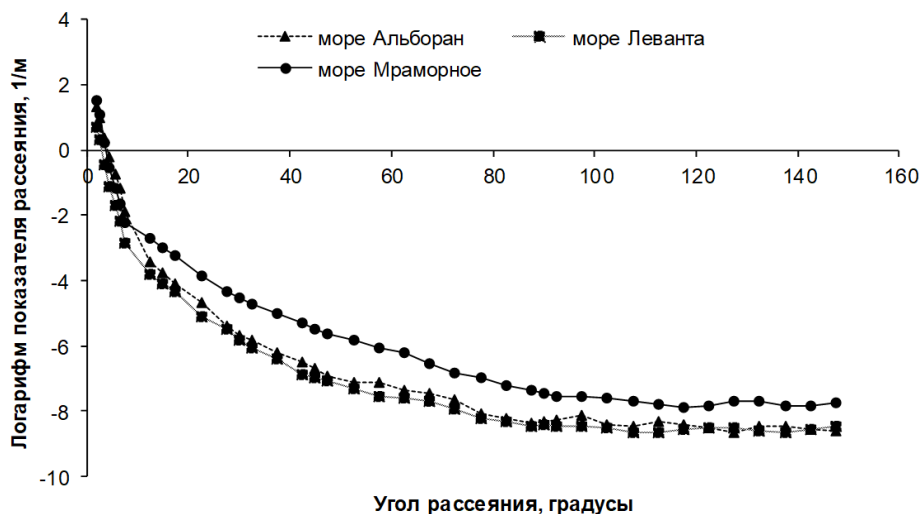
В водах Средиземного моря наблюдалась тесная связь коэффициента асимметрии индикатрисы с показателем рассеяния $K = f(\sigma)$ (рис. 5). Такие связи в водоемах носят региональный характер и зависят от состава взвеси в воде [20]. На рис. 5 показана точка для вод Эгейского моря около пролива Дарданеллы, выпадающая из линии связи $K = f(\sigma)$ для Средиземного моря. Данные значения параметров относятся к водам Мраморного моря, поступающим через пролив в Эгейское море. Положение этой точки на графике

(рис. 5) согласно модели, развитой в работе [20], свидетельствует о высокой концентрации мелкой взвеси в водах Мраморного моря.



Р и с. 5. Связь коэффициента асимметрии индикатрисы K с показателем рассеяния σ (◆ – Средиземное море, ▲ – Мраморное море)
Fig. 5. Relationship between the asymmetry coefficient of scattering phase function K and the scattering coefficient σ : ◆ – the Mediterranean Sea, ▲ – the Marmora Sea

На рис. 6 и в табл. 7 приведены примеры индикатрис в Средиземном море и в водах Мраморного моря.



Р и с. 6. Индикатрисы рассеяния света в Средиземном море (▲ – море Альборан, район 1; ■ – море Леванта, район 5; ● – Мраморное море, район 7)
Fig. 6. Light scattering phase functions in the Mediterranean Sea: ▲ – the Alboran Sea (region 1); ■ – the Levantine Sea (region 5), ● – the Marmora Sea (region 7)

Таблица 7
Table 7

Индикатрисы рассеяния света в водах Средиземного моря
The light scattering phase functions in the Mediterranean Sea waters

| Угол рассеяния, θ , ° / Scattering angle, θ , ° | $\text{Ln } \sigma(\theta)$, m^{-1} / $\text{Ln } \sigma(\theta)$, m^{-1} | | |
|--|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | в районе 1 / in region 1 | в районе 5 / in region 5 | в районе 7 / in region 7 |
| 2,0 | 1,334 | 0,713 | 1,54 |
| 7,5 | -1,863 | -2,852 | -2,23 |
| 12,5 | -3,404 | -3,795 | -2,69 |
| 17,5 | -4,094 | -4,347 | -3,22 |
| 22,5 | -4,692 | -5,083 | -3,86 |
| 27,5 | -5,397 | -5,505 | -4,35 |
| 32,5 | -5,819 | -6,072 | -4,74 |
| 37,5 | -6,187 | -6,417 | -4,99 |
| 42,5 | -6,486 | -6,877 | -5,31 |
| 47,5 | -6,923 | -7,061 | -5,61 |
| 52,5 | -7,099 | -7,291 | 5,80 |
| 57,5 | -7,130 | -7,544 | -6,07 |
| 62,5 | -7,337 | -7,613 | -6,21 |
| 67,5 | -7,452 | -7,682 | -6,56 |
| 72,5 | -7,659 | -7,958 | -6,81 |
| 77,5 | -8,073 | -8,234 | -6,99 |
| 82,5 | -8,211 | -8,311 | -7,22 |
| 87,5 | -8,372 | -8,472 | -7,38 |
| 92,5 | -8,257 | -8,487 | -7,54 |
| 97,5 | -8,119 | -8,441 | -7,57 |
| 102,5 | -8,410 | -8,510 | -7,61 |
| 107,5 | -8,479 | -8,648 | -7,71 |
| 112,5 | -8,326 | -8,648 | -7,77 |
| 117,5 | -8,418 | -8,579 | -7,87 |
| 122,5 | -8,510 | -8,510 | -7,84 |
| 127,5 | -8,648 | -8,510 | -7,70 |
| 132,5 | -8,487 | -8,625 | -7,68 |
| 137,5 | -8,487 | -8,648 | -7,84 |
| 142,5 | -8,556 | -8,556 | -7,82 |
| 147,5 | -8,625 | -8,464 | -7,73 |

Заклучение

По попутным измерениям на НИС «Горизонт» в мае 1998 г. получены данные, характеризующие пространственную изменчивость оптических свойств вод южной части Средиземного моря в весенний сезон.

Показатели ослабления и рассеяния света в поверхностных водах постепенно уменьшаются по направлению от западной части Средиземного моря к восточной. Такая же пространственная изменчивость показателя ослабле-

ния в Средиземном море в весенний период (март – апрель 2018 г.) наблюдаются по натурным данным, представленным в работе [3].

В Эгейском море около пролива Дарданеллы зафиксированы воды Мраморного моря, отличающиеся высокими значениями показателей ослабления и рассеяния света.

Индикатрисы рассеяния света в водах Средиземного моря по величине основных параметров аналогичны индикатрисам в тропических водах Атлантического океана.

В водах Средиземного моря, как и в других водных бассейнах, наблюдается связь коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния света с показателем рассеяния, проявляющаяся в возрастании асимметрии индикатрисы при увеличении показателя рассеяния.

Представленные в работе данные об оптических характеристиках поверхностных вод Средиземного моря в дальнейшем могут использоваться для сопоставительного анализа эмпирических данных по оптике средиземноморских вод, полученных в рамках экспедиционных исследований и дистанционного зондирования Средиземного моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bio-Optical Characteristics of the Aegean Sea Retrieved from Satellite Ocean Color Data / V. I. Burenkov [et al.] // *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Ed. P. Malanotte-Rizzoli, V. Eremeev. Dordrecht : Springer, 1999. P. 313–326. (NATO Science Series (Series 2: Environmental Security) ; vol. 51).
2. Spatial and seasonal variability of particulate matter optical and size properties in the Eastern Mediterranean Sea / A. P. Karageorgis [et al.] // *Journal of Marine Systems*. 2012. Vol. 105–108. P. 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.07.003>
3. LISST measurements in the Mediterranean sea: Relationships between particle optical characteristics and hydrology / S. Chaikalis [et al.] // *6th Biennial Conference Particles in Europe, PiE-2018* (Lisbon, Portugal; 14–17 October 2018) : Collection of Papers. Lisbon, Portugal, 2018. P. 20–31. URL: https://www.researchgate.net/publication/329365915_LISST_measurements_in_the_Mediterranean_Sea_Relationships_between_particle_optical_characteristics_and_hydrology (date of access: 10.01.2020).
4. Physical forcing and physical/biochemical variability of the Mediterranean Sea: a review of unresolved issues and directions for future research / P. Malanotte-Rizzoli [et al.] // *Ocean Science*. 2014. Vol. 10, iss. 3. P. 281–322. <https://doi.org/10.5194/os-10-281-2014>
5. Optical studies by the MHI of the Eastern Mediterranean: available data and some results / V. I. Mankovsky [et al.] // *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Ed. P. Malanotte-Rizzoli, V. Eremeev. Dordrecht : Springer, 1999. P. 127–139. (NATO Science Series (Series 2: Environmental Security) ; vol. 51).
6. Сезонная изменчивость оптической структуры вод Гибралтарского пролива / Е. И. Афонин [и др.] // *Морские гидрофизические исследования*. Севастополь : МГИ АН СССР, 1973. № 2. С. 188–194.
7. *Маньковский В. И., Ли М. Е., Соловьев М. В.* Оптическая структура вод Лионского залива и ее изменение после действия мистрала // *Советско-французские исследования. Взаимодействие океана и атмосферы*. Севастополь : МГИ АН УССР, 1978. С. 84–91.
8. Гидрооптические характеристики вод Левантийского моря / О. В. Мартынов [и др.] // *Оптика моря и атмосферы: тезисы докладов (октябрь 1984 г., Батуми)* / Отв. ред. К. С. Шифрин, Б. И. Утенков. Ленинград, 1984. С. 69–70.

9. *Владимиров В. Л., Урденко В. А.* Возможная тестовая акватория для калибровки оптической спутниковой аппаратуры // Исследования Земли из космоса. 1985. № 2. С. 85–89.
10. *Маньковский В. И., Соловьев М. В.* Оптические характеристики Измирского залива и влияние на них сточных вод г. Измир // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : МГИ НАНУ, 2002. Вып. 1(6). С. 93–109.
11. *Маньковский В. И.* Спектральный вклад компонентов морской воды в показатель ослабления направленного света в поверхностных водах Средиземного моря // Морской гидрофизический журнал. 2011. № 5. С. 14–29.
12. *Маньковский В. И.* Спектральный лабораторный прозрачномер с переменной базой // Системы контроля окружающей среды. Севастополь : МГИ НАНУ, 2012. Вып. 17. С. 56–60.
13. *Stambler N.* Underwater light field of the Mediterranean Sea // *Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Changes / Noga Stambler (Ed.).* Hauppauge, USA : Nova Science Publishers, Inc., 2012. Chapter 7. P. 175–198.
14. *Plankton in the open Mediterranean Sea: a review / I. Siokou-Frangou [et al.] // Biogeosciences.* 2010. Vol. 7, iss. 5. P. 1543–1586. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1543-2010>
15. Средиземное море // *Океанографическая энциклопедия / Под ред. Р. У. Фейрбриджа.* Л. : Гидрометеиздат, 1974. С. 489–495.
16. *Дубравин В. Ф.* Биогеографическая структура // Атлас термохалинной и биогеографической структур вод Атлантического океана / В. Ф. Дубравин. Калининград : Капрос, 2013. Раздел 5. С. 216–276.
17. *Копелевич О. В.* Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды. Физическая модель ослабления // *Оптика океана. Том 1. Физическая оптика океана / Под ред. А. С. Монины. М. : Наука, 1983. С. 208–234.*
18. *Morel A., Gentili B.* The dissolved yellow substance and the shades of blue in the Mediterranean Sea // *Biogeosciences.* 2009. Vol. 6, iss. 11. P. 2625–2636. <https://doi.org/10.5194/bg-6-2625-2009>
19. *Маньковский В. И.* Параметры индикатрис рассеяния света в тропических водах Атлантического океана // *Оптика атмосферы и океана.* 2018. Т. 31, № 8. С. 634–639. doi:10.15372/AOO20180806
20. *Маньковский В. И.* Изменение коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния света природных вод, содержащих органические частицы // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2016. Т. 52, № 3. С. 373–378. doi:10.7868/S0002351516030081

Об авторах:

Маньковский Виктор Иванович, старший научный сотрудник, отдел оптики и биофизики моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4272-2218**, **ResearcherID: I-5460-2015**, mankovskiy@mhi-ras.ru

Маньковская Екатерина Викторовна, научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4086-1687**, **ResearcherID: AAB-5303-2019**, emankovskaya@mhi-ras.ru