

УДК 551.463.5

© [В. И. Маньковский], Е. В. Маньковская*, 2024

Морской гидрофизический институт РАН, 299011, ул. Капитанская, д. 2, г. Севастополь, Россия

*emankovskaya@mail.ru

СПОСОБ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ НИСХОДЯЩЕЙ ОБЛУЧЕННОСТИ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Статья поступила в редакцию 29.03.2024, после доработки 06.09.2024, принята в печать 17.09.2024

Аннотация

Показатель вертикального ослабления дневного света является одной из гидрооптических характеристик, определяющих параметры светового поля в море. Знание величины показателя вертикального ослабления нисходящего излучения (или показателя диффузного ослабления) необходимо при определении важного биологического и экологического параметра водоемов — толщины эвфотического слоя. В статье описывается возможный метод оценки показателя вертикального ослабления нисходящей облученности по измерениям показателя ослабления направленного света на длине волны 525 нм для вод Чёрного моря, которые характеризуются повышенным содержанием растворенного органического вещества и относятся ко II типу вод (по классификации Мореля). В методе используются эмпирические формулы, устанавливающие взаимосвязь между показателями ослабления направленного и диффузно рассеянного света. В работе приводятся примеры применения метода, показавшие достаточно высокую корреляцию ($R = 0,85$) между величинами показателя вертикального ослабления, определенными по измерениям *in situ* подводной облученности фотометром и рассчитанными по измерениям *in situ* показателя ослабления направленного света прозрачномером. Среднеквадратическое отклонение рассчитанных величин от измеренных составляет $0,008 \text{ м}^{-1}$, максимальное отклонение — $0,023 \text{ м}^{-1}$.

Ключевые слова: подводная облученность, показатель вертикального ослабления нисходящей облученности, показатель диффузного ослабления, показатель ослабления направленного света, Чёрное море, толщина фотического слоя

UDC 551.463.5

© [V. I. Mankovsky], E. V. Mankovskaya*, 2024

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, 299011, Kapitanskaya Str., 2, Sevastopol. Russia

*emankovskaya@mail.ru

METHOD FOR ESTIMATING THE DIFFUSE ATTENUATION COEFFICIENT FROM THE BEAM ATTENUATION COEFFICIENT IN THE WATERS OF THE BLACK SEA

Received 29.03.2024, Revised 06.09.2024, Accepted 17.09.2024

Abstract

The vertical attenuation coefficient of downward irradiance is one of the hydro-optical characteristics that determine the parameters of the light field in the sea. Information from the vertical attenuation coefficient of downward irradiance (or the diffuse attenuation coefficient) is necessary when determining an important biological and ecological parameter of water basin — the thickness of the euphotic layer. A possible method for estimating the vertical attenuation coefficient of downward irradiance (or the diffuse attenuation coefficient) from measurements of the beam attenuation coefficient at a wavelength of 525 nm for the Black Sea waters is described. The Black Sea waters are characterized by an increased content of dissolved organic matter and belong to type II waters (according to the Morel classification). Examples of the application of the method are given, which showed a quite high correlation ($R = 0.85$) between the values of the vertical attenuation coefficient of downward irradiance determined from *in*

Ссылка для цитирования: Маньковский В.И., Маньковская Е.В. Способ оценки показателя вертикального ослабления нисходящей облученности по показателю ослабления света в водах Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. Т. 17, № 3. С. 84–90. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(3)-7

For citation: Mankovsky V.I., Mankovskaya E.V. Method for Estimating the Diffuse Attenuation Coefficient from the Beam Attenuation Coefficient in the Waters of the Black Sea. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2024;17(3):84–90. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(3)-7

situ measurements of underwater irradiance with a photometer and calculated from *in situ* measurements of the beam attenuation coefficient with a transparency meter. The standard deviation of the calculated values from the measured ones is 0.008 m^{-1} , the maximum deviation is 0.023 m^{-1} .

Keywords: underwater irradiation, vertical attenuation coefficient of downward irradiance, diffuse attenuation coefficient, beam attenuation coefficient, Black Sea, photic depth

1. Введение

Показатель вертикального ослабления дневного света является одной из гидрооптических характеристик, определяющих параметры светового поля в море. Существует два потока солнечного излучения — восходящий и нисходящий, изменяющиеся с глубиной. Они зависят от оптических свойств морской среды, её рассеивающих и поглощающих свойств [1]. Наибольший интерес, особенно с точки зрения биологии, представляет показатель вертикального ослабления нисходящего излучения K_d (или показатель диффузного ослабления) на разных глубинах. В частности, знание величины K_d необходимо при определении важного биологического и экологического параметра водоемов — толщины эвфотического слоя.

Показатель K_d зависит от длины волны, поскольку его величина определяется значениями показателей поглощения и рассеяния, которые в свою очередь являются спектральными. Для расчета K_d используется экспоненциальный закон ослабления с глубиной спектральных величин подводной облученности сверху $E_d(z)$:

$$E_d(z) = E_0 \exp \left[- \int_0^z K_d(z') dz' \right], \quad (1)$$

где длина волны λ опущена, но подразумевается [2].

В случае дискретных измерений фотометром на разных глубинах (z_1 и z_2) облученности нисходящим потоком дневного света $E_d(z)$ величину K_d определяют по формуле:

$$K_d(z) = \ln [E_d(z_1) / E_d(z_2)] / (z_2 - z_1); z = (z_2 + z_1) / 2. \quad (2)$$

Толщину эвфотического слоя $H_{\text{эвф}}$ оценивают по глубине, на которой облученность в области ФАР (фотосинтетически активная радиация в диапазоне 400–700 нм) еще достаточна для производства первичной продукции. Считается, что это происходит на глубине, где уровень облученности составляет 0,01 от облученности моря на глубине $z = 0$ м. Согласно этому условию, величина $H_{\text{эвф}}$ определяется из (1) по формуле:

$$H_{\text{эвф}} = 4,6 / K_d. \quad (3)$$

При проведении измерений вертикального распределения облученности необходимо соблюдать ряд условий [3]. Измерения желательнее проводить при отсутствии волнения, так как при его наличии в верхних слоях моря создаются большие флуктуации освещенности на фотоприемнике за счет фокусирующего действия волн. Для уменьшения ошибки измерений приходится проводить многократные измерения и использовать в вычислениях среднее значение $E_d(z)$ на данной глубине. Для учета изменения освещенности моря во время измерений необходимо ее регистрировать палубным фотометром, на показания которого при обработке результатов измерений нормируют показания подводного фотометра. В темное время суток измерения совсем невозможны.

При отсутствии специального фотометра для измерения K_d иногда его величину оценивают по эмпирическим связям с другими гидрооптическими характеристиками, например, с глубиной видимости белого диска [4–6]. В работе [7] предлагается алгоритм расчета толщины фотического слоя по *in situ* измерениям вертикальных профилей показателя ослабления направленного света для вод первого типа (Case 1).

В настоящей работе рассматривается возможный метод оценки показателя вертикального ослабления нисходящего излучения K_d по величине показателя ослабления направленного света водой ϵ , измеренного с помощью прозрачномера (длина волны $\lambda = 525$ нм) для вод Чёрного моря. На результаты измерений ϵ с помощью прозрачномера волнение и изменяющееся освещение моря не влияют. Длина волны $\lambda = 525$ нм соответствует так называемому «спектральному окну прозрачности» вод Чёрного моря. Величина K_d достигает минимального значения в данной спектральной области и имеет максимальный коэффициент корреляции с облученностью в области ФАР [8, 9].

2. Метод

Ослабление дневного света в море происходит за счёт двух факторов: поглощения и рассеяния света, характеризующимися показателями поглощения κ и рассеяния назад $\sigma \uparrow$:

$$K_d \sim \kappa + \sigma \uparrow. \quad (4)$$

В работе [10] установлено, что при освещении моря высокостоящим солнцем и безоблачной погоде, величину K_d в средней части видимого спектра на $81 \pm 8 \%$ составляет показатель поглощения κ . То есть, зная показатель поглощения, можно оценить показатель вертикального ослабления (среднее, максимальное и минимальное значения) по формулам:

$$\begin{aligned} \langle K_d(\lambda) \rangle &= 1,235\kappa; \\ K_d(\lambda)_{\max} &= 1,370\kappa; \\ K_d(\lambda)_{\min} &= 1,124\kappa. \end{aligned} \quad (5)$$

В работе [11] для вод Черного моря установлена связь показателя поглощения с показателем ослабления направленного света на длине волны $\lambda = 525$ нм:

$$\kappa(525) = 0,064\varepsilon(525) + 0,058. \quad (6)$$

Это дает возможность оценивать показатель вертикального ослабления дневного света по показателю ослабления направленного света. Из формул (5) и (6) получаем формулы для среднего значения $\langle K_d(525) \rangle$ и формулы для $K_d(525)_{\max}$ и $K_d(525)_{\min}$:

$$\begin{aligned} \langle K_d(525) \rangle &= 0,079\varepsilon(525) + 0,072; \\ K_d(525)_{\max} &= 0,088\varepsilon(525) + 0,079; \\ K_d(525)_{\min} &= 0,072\varepsilon(525) + 0,065. \end{aligned} \quad (7)$$

Следует отметить, что предлагаемый метод не применим для случаев наличия большого количества частиц мелкой взвеси, вызывающих значительное возрастание величины показателя рассеяния назад, как, например, при цветении кокколитофорид.

По величине показателя вертикального ослабления нисходящего излучения $K_d(525)$ можно восстановить спектральные значения $K_d(\lambda)$ на других длинах волн видимого спектра как показано в работах [12, 13].

3. Проверка метода

В 41-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (апрель 1993 г.) в Черном море были проведены измерения подводной облученности (на дискретных глубинах через каждые 5 м) на длине волны 525 нм фотометром [14], по которым были рассчитаны показатели вертикального ослабления нисходящего излучения $K_d(525)$.

Одновременно с измерениями подводной облученности фотометром проводились измерения показателя ослабления направленного света водой практически на той же длине волны ($\lambda = 527$ нм) прозрачномером [15]. Во время наблюдений была легкая облачность верхнего яруса. Высота солнца составляла 40–45°.

В 103-й экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» по Черному морю (28.08–18.09.2018) также выполнялись измерения подводной облученности фотометром, разработанным в отделе оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института [16]. Прибор имеет семь спектральных каналов, один из которых с длиной волны $\lambda = 510$ нм (наиболее близкое значение к $\lambda = 525$ нм). Данные подводной облученности получены на трех станциях в дневное время. Параллельно на этих станциях проводились измерения показателя ослабления направленного света на четырех длинах волн прозрачномером [17]. Для расчета K_d по формуле (7) использовано значение показателя ослабления света на длине волны $\lambda = 520$ нм.

Полигон измерений в 41-м рейсе (1993 г.) охватывал глубоководную северную часть Черного моря и восточную часть северо-западного шельфа. Станции 103-го рейса (2018 г.) располагались в той же области: одна на северо-западном шельфе, вторая и третья — в глубоководной части моря (рис. 1).

На рис. 2 показано сравнение величин K_d в слое 5–15 м, рассчитанных по измерениям подводной облученности фотометром, и рассчитанных по формуле (7) по показателям ослабления направленного света, измеренных прозрачномером. Коэффициент корреляции $R = 0,85$. Среднеквадратическое отклонение рассчитанных величин от измеренных составило $0,008 \text{ м}^{-1}$, максимальное отклонение — $0,023 \text{ м}^{-1}$.

Следует отметить, что «выпадающая» точка на графике получена по данным измерений 30.08.2018 на станции St.16, которая находилась в зоне действия антициклонического мезомасштабного вихря (Севастопольский антициклон). Характерной оптической чертой антициклонических вихрей является высокая прозрачность их вод [18]. Значения показателя ослабления света на станции St.16 в 1,2...1,3 раза ниже, чем на двух других станциях, где выполнялись измерения фотометром и прозрачномером.

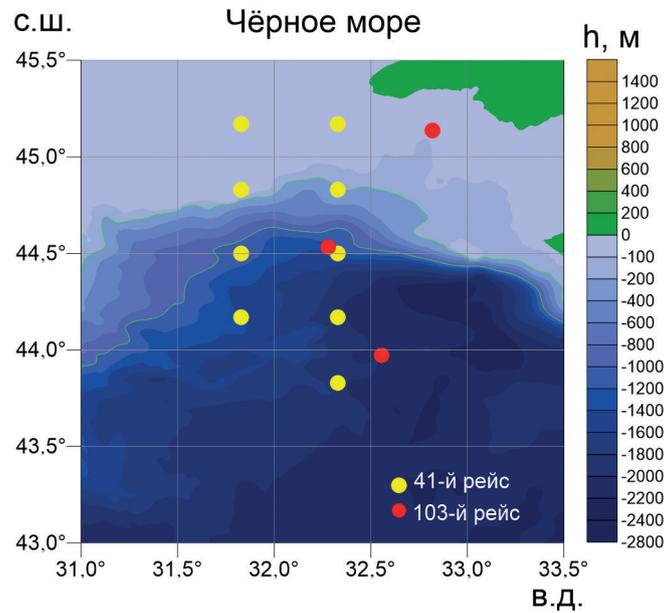


Рис. 1. Расположение станций в экспедициях 1993 г. (желтые точки) и 2018 г. (красные точки)
Fig. 1. Station locations in the 1993 (yellow dots) and 2018 (red dots) expeditions

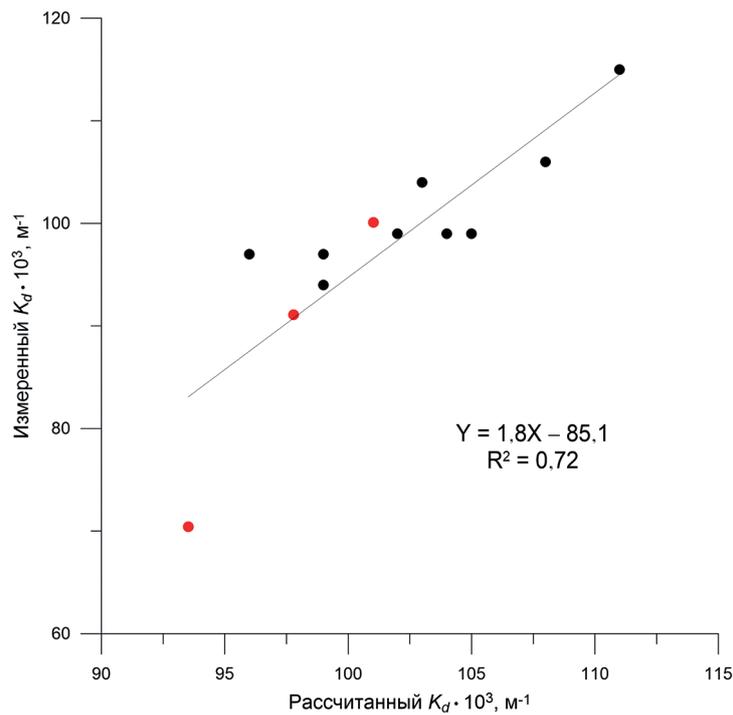


Рис. 2. Сравнение величин K_d (слой 5–15 м), определенных по измерениям фотометром и рассчитанных по измерениям показателя ослабления направленного света прозрачномером. Черные круги — 41-й рейс, красные — 103-й рейс. Тонкая линия — корреляционная связь

Fig. 2. Comparison of K_d values (layer 5–15 m), determined from photometer measurements and calculated from measurements of the beam attenuation coefficient with a transparency meter. The black circles are the 41st cruise, the red ones are the 103rd cruise. The thin line is a correlation

4. Заключение

Знание величины показателя вертикального ослабления нисходящего излучения K_d (или показателя диффузного ослабления) на разных глубинах является необходимым для определения толщины эвфотического слоя водоема. Это важный биологический и экологический параметр, поскольку именно в эвфотическом слое моря происходит поглощение фитопланктоном солнечной радиации и, как результат, производство им первичной продукции. Непосредственное измерение величины K_d представляет собой определенные сложности и требует соблюдения ряда условий. Поэтому существуют методы оценки показателя вертикального ослабления нисходящего излучения K_d по эмпирическим связям с другими гидрооптическими характеристиками.

В настоящей работе рассмотрен аналогичный подход, в котором используются величины, полученные более простым измерительным прибором — прозрачномером, результаты измерений которого менее зависимы от внешних условий (волнения, освещения). Предложен метод оценки показателя вертикального ослабления нисходящего излучения K_d по величине показателя ослабления направленного света водой ϵ , измеренного с помощью прозрачномера (длина волны $\lambda = 525$ нм) для вод Чёрного моря. Используемая в методе длина волны соответствует минимуму в спектральном распределении показателя вертикального ослабления дневного света. Это обусловлено тем, что воды Чёрного моря характеризуются повышенным содержанием растворенного органического вещества и относятся ко II типу вод (по классификации Мореля). По величине $K_d(525)$ можно восстановить полное спектральное распределение величин $K_d(\lambda)$ в видимом диапазоне спектра (350–700 нм). Метод имеет ограничения для случаев, когда в водах наблюдается большое количество частиц мелкой взвеси (например, кокколитофоридные цветения).

Примеры применения метода рассмотрены для двух экспедиций (апрель 1993 г. и август–сентябрь 2018 г.), в которых выполнялись одновременные измерения подводной облучённости и показателя ослабления направленного света. Между величинами K_d , определенными по измерениям фотометром и рассчитанными по измерениям показателя ослабления направленного света прозрачномером имеется достаточно высокая корреляция ($R = 0,85$). Среднеквадратическое отклонение рассчитанных величин от измеренных составляет $0,008 \text{ м}^{-1}$, максимальное отклонение — $0,023 \text{ м}^{-1}$.

Предложенный метод, можно использовать для получения величин показателя вертикального ослабления нисходящего излучения K_d в тех случаях, когда его измерения не проводились, но выполнялись измерения показателя ослабления света. Это может быть особенно полезно для накопленных массивов исторических данных.

Благодарности

Выражаем благодарность сотруднику отдела оптики и биофизики моря МГИ РАН Латушкину А.А. за выполнение оптических измерений в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» и предоставление их результатов для исследования.

Acknowledgements

We express our gratitude to A.A. Latushkin of the Department of Optics and Marine Biophysics, MGI RAS, for performing optical measurements during the 103rd cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky” and providing their results for the study.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология» и № FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования». Использованы данные, полученные в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (Центр коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»).

Funding

The work was carried out within the framework of the state assignment under the themes No. FNNN-2024-0012 “Operational Oceanology” and No. FNNN-2024-0016 “Coastal Research”. The data obtained during the 103rd cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky” (Collective Use Center “R/V Professor Vodyanitsky” FGBUN FIC “A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS”) were used.

Литература

1. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 246 с.
2. Вазюля С.В., Копелевич О.В. Сравнительные оценки баланса фотосинтетически активной радиации в Баренцевом, Белом, Карском и Чёрном морях по данным судовых и спутниковых измерений // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2012. Т. 5. № 4. С. 47–53.
3. Козлянинов М.В. Руководство по гидрооптическим измерениям в море // *Труды ИО АН СССР*. 1961. Т. 47. С. 37–79.
4. Kullenberg G. Relationships between Optical Parameters in Different Oceanic Areas // *Stud. phys. oceanogr. / Papers dedicated to professor Nils G. Jerlov in commemoration of this seventieth birthday*. Report Nr. 42. Copenhagen: Kobenhavns Universitet, July 1980. P. 57–79.
5. Pilgrim D.A. The Secchi Disk in principles and in use // *Hydrographic Journal*. 1984. № 33. P. 25–30.
6. Маньковский В.И. Связь показателя вертикального ослабления дневного света с глубиной видимости белого диска // *Океанология*. 2014. № 1. С. 38–43. doi:10.7868/S0030157414010080
7. Латушкин А.А., Салюк П.А., Суслин В.В., Мартынов О.В. Региональный алгоритм расчета толщины фотического слоя из вертикального профиля показателя ослабления направленного света на примере северо-западной части моря Уэдделла // *Океанология*. 2023. Т. 63, № 4. С. 628–633. doi:10.31857/S0030157423040081
8. Маньковский В.И., Соловьев М.В., Маньковская Е.В. Гидрооптические характеристики Черного моря. Справочник. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. С. 41–42.
9. Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Упрощенный метод расчета спектрального диффузного коэффициента ослабления света в верхнем слое Черного моря на основе спутниковых данных // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2010. № 22. С. 47–60.
10. Иванов А.П., Шемшур В.Е. Метод оценки величины показателя поглощения света водой // *Морские гидрофизические исследования*. 1973. № 1(60). С. 110–118.
11. Маньковский В.И. Исследование связи показателя поглощения с показателем ослабления направленного света в водах Черного моря // *Труды VIII Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод»*. СПб.: 2015. С. 118–120.
12. Khrapko A.N., Kopelevich O.V., Burenkov V.I. et al. New instrument for measuring surface and underwater irradiances // *Proceedings of IV International Conference “Current problems in Optics of Natural Waters” (ONW’2007)*. Nizhny Novgorod: Institute of Applied Physics, September 11–15. 2007. 271–275.
13. Маньковский В.И. Метод определения спектральных величин подводной квантовой облученности в области фотосинтетически активной радиации по глубине видимости белого диска // *Морской гидрофизический журнал*. 1999. № 3. С. 84–88.
14. Вайнерман Б.А., Неуймин Г.Г. Прибор для измерения подводной облученности // *Экспериментальные методы исследования океана*. Севастополь: МГИ АН УССР, 1978. С. 144–150.
15. Маньковский В.И. Спектральный лабораторный прозраномер с переменной базой // *Системы контроля окружающей среды*. Севастополь: МГИ НАНУ, 2012. С. 56–60.
16. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Измерения спектральных свойств вертикального распределения горизонтальной облученности // *Труды VIII Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод»*. СПб., 2015. С. 271–276.
17. Латушкин А.А. Многоканальный измеритель коэффициента ослабления света для проведения океанографических подспутниковых исследований // *Управление и мехатронные системы*. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013. С. 231–236.
18. Маньковский В.И., Маньковская Е.В. Оптические аномалии в Севастопольском антициклоническом вихре // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. № 1. С. 48–53. doi:10.22449/2413-5577-2019-1-48-53

References

1. Yerlov N.G. *Marine Optics*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1980. 246 p. (in Russian).
2. Vasulia S.V., Kopelevich O.V. Comparative Estimates of the Budget of Photosynthetic Available Radiation (PAR) in the Barents, White, Kara and Black Seas Derived From in situ and Satellite Data. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2012;5(4):47–53 (in Russian).
3. Kozlyaninov M.V. Hydrooptical Sea Measurement Guidance. *Proceedings of IO AS USSR*. 1961;47:37–79 (in Russian).
4. Kullenberg G. Relationships between Optical Parameters in Different Oceanic Areas. *Studies in Physical Oceanography: papers dedicated to professor Nils G. Jerlov in commemoration of this seventieth birthday*. Copenhagen, Kobenhavns Universitet, Institut for Fysisk Oceanografi, 1980, Report No. 42, 57–79.

5. Pilgrim D.A. The Secchi Disk in principles and in use. *Hydrographic Journal*. 1984;33:25–30.
6. Mankovsky V.I. Relation between the diffuse attenuation coefficient and the Secchi depth. *Oceanology*. 2014;54:32–37. doi:10.1134/S0001437014010081
7. Latushkin A.A., Salyuk P.A., Suslin V.V., Martynov O.V. A Regional Algorithm for Calculating the Thickness of the Photic Zone from the Vertical Profile of the Beam Attenuation Coefficient with a Case Study of the Northwestern Weddell Sea. *Oceanology*. 2023;63:545–549. doi:10.1134/S0001437023040082
8. Mankovsky V.I., Solov'iev M.V., Mankovskaya E.V. *Hydrooptical Properties of the Black Sea. Handbook*. Sevastopol: MHI NAS of Ukraine;2009. P. 41–42 (in Russian).
9. Suslin V.V., Churilova T. Ya. Simplified Method of Calculation of Spectral Diffuse Beam Attenuation Coefficient in the Black Sea Upper Layer on the Basis of Satellite Data. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. 2010;22:47–60 (in Russian).
10. Ivanov A.P., Shemshura V.E. Assessment method of light absorption by water. *Morskije Gidrofizicheskie Issledovaniya*. 1973, 1(60), 110–118 (in Russian).
11. Mankovsky V.I. Investigation of connection between absorption coefficient and beam attenuation coefficient in Black Sea waters. *Proceedings of VIII International Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters”*, September 8–12, 2015, St. Petersburg, 118–120.
12. Khrapko A.N., Kopelevich O.V., Burenkov V.I. et al. New instrument for measuring surface and underwater irradiances. *Proceedings of IV International Conference “Current problems in Optics of Natural Waters” (ONW’2007)*. Nizhny Novgorod, Institute of Applied Physics, September 11–15, 2007:271–275.
13. Man'kovsky V.I. Method for the evaluation of the spectral values of underwater quantum irradiance within the band of photosynthetically active radiation according to the depth of visibility of a Secchi disk. *Physical Oceanography*. 2001;11:299–304. doi:10.1007/BF02508876
14. Vainerman B.A., Neumin G.G. Instrument for measuring of underwater irradiance. *Experimentalnye metody issledovaniya okeana. Sevastopol, MHI*, 1978:144–150 (in Russian).
15. Mankovsky V.I. Spectral laboratory transparenecyrometer with variable base. *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol, MHI NAS of Ukraine*, 2012:56–60 (in Russian).
16. Lee M.E., Shybanov E.B., Martynov O.V. The measurements of the spectral properties of the vertical distribution of horizontal irradiance. *Proceedings of VIII International Conference “Current problems in Optics of Natural Waters” (ONW’2015)*. St. Petersburg, September 6–10. 2015:271–275 (in Russian).
17. Latushkin A.A. Multi-channel light attenuation meter for oceanographic sub-satellite studies. *Upravlenie i Mekhanotronnye Sistemy. Sevastopol, MHI NAS of Ukraine*, 2013:231–236 (in Russian).
18. Mankovsky V.I. Mankovskaya E.V. Optical Anomalies in the Sevastopol Anticyclonic Eddy. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. 2019;1:48–53. doi:10.22449/2413-5577-2019-1-48-53 (in Russian).

Об авторах

МАНЬКОВСКИЙ Виктор Иванович, старший научный сотрудник отдела оптики и биофизики моря ФГБУН ФИЦ МГИ, кандидат физико-математических наук, ORCID: 0000-0002-4272-2218, Scopus AuthorID: 6506047768, WoS ResearcherID: I-5460-2015, SPIN-код (РИНЦ): 1281-6327

МАНЬКОВСКАЯ Екатерина Викторовна, старший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа ФГБУН ФИЦ МГИ, кандидат технических наук, ORCID: 0000-0002-4086-1687, Scopus AuthorID: 57192647961, WoS ResearcherID: AAB-5303-2019, SPIN-код (РИНЦ): 2453-9943, e-mail: emankovskaya@mhi-ras.ru