

## Методические особенности измерения истинного спектра поглощения света монокультурами

С. А. Шоларь<sup>1\*</sup>, В. В. Суслин<sup>1</sup>, Л. В. Стельмах<sup>2</sup>,  
Н. В. Минина<sup>2</sup>, О. С. Алатарцева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,  
Севастополь, Россия

\* e-mail: sa.sholar@mail.ru

### Аннотация

Представлена методика определения истинного спектра поглощения света плотной культурой морской кокколитофориды *Chrysotila* sp. с использованием однолучевого спектрофотометра МС 122А, оснащенного интегрирующей сферой. Основная проблема стандартных измерений заключается в искажении спектра из-за светорассеяния клетками, что особенно заметно в ближней инфракрасной области (750–800 нм), где поглощение пигментов отсутствует, но измеряемый сигнал не равен нулю. Для компенсации эффекта рассеяния использован подход, основанный на регистрации спектров поглощения при двух положениях кюветы относительно интегрирующей сферы: стандартном (вплотную) и на расстоянии 2 мм. Поправочный коэффициент, не зависящий от длины волны, рассчитывали по данным в области 750–800 нм, его значение составило 3.77. Истинный спектр поглощения, очищенный от вклада рассеяния, вычисляли по предложенной формуле. Методика показала эффективность для культур с высокой численностью клеток, обеспечивая нулевые значения поглощения в ближней ИК-области. Однако при низкой концентрации клеток метод неприменим из-за значительного роста погрешностей. Таким образом, работа демонстрирует практический способ корректного определения спектров поглощения *in vivo* на доступном оборудовании, что важно для экологических и физиологических исследований фитопланктона, а также для развития региональных алгоритмов дистанционного зондирования.

**Ключевые слова:** спектрофотометрия, интегрирующая сфера, поглощение света, кокколитофориды, *Chrysotila* sp., истинный спектр поглощения, поправочный коэффициент, *in vivo*, *in vitro*, ацетоновый экстракт

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012 «Анализ, диагноз и оперативный прогноз состояния гидрофизических и гидрохимических полей морских акваторий на основе математического моделирования с использованием данных дистанционных и контактных методов измерений» (шифр «Оперативная океанология») и ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагиали в условиях антропогенного воздействия и изменений климата» (№ 124030400057-4).

© Шоларь С. А., Суслин В. В., Стельмах Л. В., Минина Н. В.,  
Алатарцева О. С., 2026



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0  
International (CC BY-NC 4.0)  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0  
International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Шоларь С. А., Суслин В. В., Стельмах Л. В., Минина Н. В. и др. Методические особенности измерения истинного спектра поглощения света монокультурами // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 1. С. 146–155. EDN WIERCH.

## Methodological Features in Measuring the True Light Absorption Spectrum of Monocultures

S. A. Sholar<sup>1</sup>\*, V. V. Suslin<sup>1</sup>, L. V. Stelmakh<sup>2</sup>,  
N. V. Minina<sup>2</sup>, O. S. Alatartseva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup>A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,  
Sevastopol, Russia

\* e-mail: sa.sholar@mail.ru

### Abstract

This study presents a technique for determining the true light absorption spectrum of a dense culture of the marine coccolithophore *Chrysothila* sp. using a single-beam MS 122A spectrophotometer equipped with an integrating sphere. The main problem with standard measurements is the distortion of the spectrum due to light scattering by cells, which is especially noticeable in the near-infrared region (750–800 nm), where the pigments are not absorbed, but the signal is not zero. To compensate for the scattering effect, the authors used an approach based on recording absorption spectra at two positions from the integrating sphere: standard (close to) and at a distance of 2 mm. The correction factor, independent of wavelength, was calculated from data in the range of 750–800 nm. Its value was 3.77. The true absorption spectrum, stripped of the scattering contribution, was calculated using the proposed formula. The technique has shown its effectiveness for cultures with a high cell density, providing zero absorption values in the near-infrared region. However, with a low cell concentration, the technique is inapplicable due to a significant increase in errors. Thus, the work demonstrates a practical way to correctly determine *in vivo* absorption spectra using available equipment, which is important for ecological and physiological studies of phytoplankton as well as for development of regional remote sensing algorithms.

**Keywords:** spectrophotometry, integrating sphere, light absorption, coccolithophorides, *Chrysothila* sp., true absorption spectrum, correction factor, *in vivo*, *in vitro*, acetone extract

**Acknowledgments:** The work was carried out under state assignment FNNN-2024-0012 “Analysis, diagnosis and real-time forecast of the state of hydrophysical and hydrochemical fields of marine water areas based on mathematical modelling using data from remote and *in situ* methods of measurements” (code “Operational Oceanology”) and IBSS RAS state assignment No. 124030400057-4 “Transformation of the structure and functions of marine pelagic ecosystems under conditions of anthropogenic impact and climate change.”

**For citation:** Sholar, S.A., Suslin, V.V., Stelmakh, L.V., Minina, N.V. and Alatartseva, O.S., 2026. Methodological Features in Measuring the True Light Absorption Spectrum of Monocultures. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 146–155.

## Введение

Спектрофотометры являются основным инструментом для оценки оптических свойств фотосинтетических клеток. Однако достоверность измерений спектров поглощения *in vivo* ограничена искажающим влиянием светорассеяния, величина которого зависит как от распределения рассеянного света внутри пробы, так и от геометрии кюветы и детектора.

Наиболее эффективным способом минимизации потерь рассеянного света является использование в спектрофотометрах интегрирующей сферы (ИС) [1], внутренняя поверхность которой обладает высоким коэффициентом отражения. При расположении исследуемого образца внутри такой сферы весь рассеянный свет попадает на фотодетектор и измеряемая оптическая плотность обусловлена только истинным поглощением света образцом [2]. Однако в стандартных спектрофотометрах, оснащенных ИС, конструкция обычно не предусматривает размещения образца внутри сферы – кювета устанавливается перед входным окном. В такой конфигурации полностью исключить вклад рассеяния не удастся.

В литературе предложены два подхода к коррекции: использование поправочных коэффициентов и методика регистрации спектров на разном расстоянии от ИС [3, 4]. Второй подход основан на том, что изменение расстояния до ИС позволяет варьировать долю рассеянного света в регистрируемом сигнале. Измерения на двух расстояниях (вблизи и вдали от ИС) дают возможность восстановить спектр поглощения, компенсированный на рассеяние, что подтверждается выходом на нулевые значения в диапазоне 750–800 нм, где поглощение пигментов отсутствует [5].

В дальнейшем такие скорректированные спектры могут быть использованы в региональных алгоритмах для разделения вкладов кокколитофорид, диатомовых и динофитовых водорослей по мультиспектральным измерениям коэффициента яркости моря [6], получаемым, в частности, по спутниковым данным.

Для Черного моря актуальной задачей является создание региональных алгоритмов интерпретации спутниковых данных, позволяющих разделять вклад различных таксономических групп фитопланктона (кокколитофорид, диатомовых, динофитовых) в общую биомассу [7]. Решение этой задачи требует наличия эталонных спектров поглощения света чистыми культурами массовых видов. В 2023 г. была начата серия работ по исследованию особенностей спектров показателя поглощения света отдельными видами черноморского фитопланктона разной таксономической принадлежности, однако качество исходных спектров *in vivo*, получаемых на спектрофотометре МС 122А стандартным методом, остается неудовлетворительным для надежного разделения вкладов, что делает коррекцию на рассеяние обязательной.

Цель работы – определение истинного спектра поглощения света накопительной культурой морской кокколитофориды *Chrysotila* sp. с использованием однолучевого спектрофотометра МС 122А и методики измерений на двух расстояниях от ИС. Работа выполнена с использованием материалов доклада на XIII Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы оптики естественных вод 2025» [8].

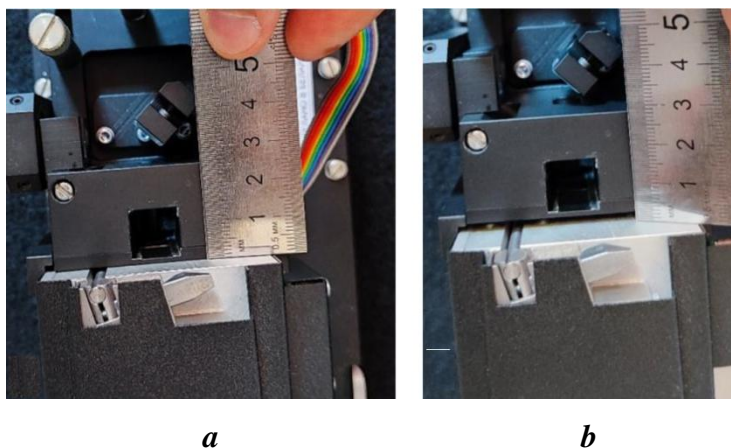
### Материалы и методы

В работе использовали альгологически чистую культуру кокколитофориды *Chrysotila* sp. P. L. Anand из коллекции живых культур морских планктонных микроводорослей ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ.

Водоросли выращивали в конических колбах объемом 0.2 л в питательной среде *f/2* [9], приготовленной на основе пастеризованной морской воды. Для поддержания культуры в экспоненциальной фазе роста и постоянной численности клеток ее ежедневно разбавляли свежей питательной средой. Температура культивирования составляла  $(18 \pm 1)$  °С, что соответствует температурному оптимуму для исследуемого вида.

Спектры поглощения регистрировали в кюветах с длиной оптического пути 1 см в диапазоне от 300 до 800 нм с шагом 1 нм на однолучевом спектрофотометре MC 122A (*SOL instruments*, Минск, Беларусь), оснащенном устройством диффузного пропускания и отражения с ИС. При измерении кювету размещали перед входным окном ИС в кюветодержателе устройства<sup>1)</sup>. Внутренний диаметр ИС – 50.8 мм (2 дюйма). Покрытие внутренней поверхности ИС – BaSO<sub>4</sub>.

Измерения проводили при двух положениях кюветы (рис. 1): стандартное положение – вплотную к входному окну ИС ( $r = 0$ ); удаленное положение – на максимально возможном для данной конструкции расстоянии  $r = 2$  мм от входного окна ИС. Конструкция кюветного отделения спектрофотометра MC 122A не позволяет установить кювету на расстояние более 2 мм (ограничение связано с зеркалом оптической системы), поэтому в работе использовано это значение.



Р и с . 1 . Вид сверху на кюветное отделение MC 122A: *a* – в положении близко к ИС; *b* – на расстоянии 2 мм от ИС

Fig . 1 . Top view of the MS 122A cuvette compartment: *a* – in a position close to the integrating sphere (IS); *b* – at a distance of 2 mm from the IS

<sup>1)</sup> URL: <https://solinstruments.by/produkcija/spektrofotometry/mc-122/dopolnitelnoe-oborudovanie/> (дата обращения: 14.02.2025).

Истинный спектр поглощения, компенсированный на рассеяние, определяется по формуле [1]

$$\tilde{a}(\lambda) = a_{\text{ph}}(\lambda; r) - L_{\text{осл}}(r; 0) \cdot [a_{\text{ph}}(\lambda; r) - a_{\text{ph}}(\lambda; 0)], \quad (1)$$

где  $a_{\text{ph}}(\lambda; r)$  – показатель поглощения света образцом, расположенным на некотором расстоянии  $r$  от ИС;  $L_{\text{осл}}(r; 0)$  – поправочный коэффициент;  $a_{\text{ph}}(\lambda; 0)$  – показатель поглощения света при стандартном положении кюветы.

Эксперименты по изучению влияния расстояния от ИС до образца на спектры поглощения хорошо описаны в работе [3].

Предполагается, что поправочный коэффициент  $L_{\text{осл}}(r; 0)$  не зависит от длины волны и его значение может быть определено при переходе в область длин волн, в которой образец не поглощает свет (то есть к области 750–800 нм видимого диапазона):

$$L_{\text{осл}}(r; 0) = \frac{a_{750-800}(\lambda; r)}{a_{750-800}(\lambda; r) - a_{750-800}(\lambda; 0)}. \quad (2)$$

Для сравнительного анализа пигменты экстрагировали из клеток 100%-ным ацетоном по методике [10]. Спектры поглощения экстрактов регистрировали на том же приборе в стандартных 1 см кюветах.

### Результаты и обсуждение

При стандартном расположении кюветы (близко к ИС) поглощение света образцом  $a_{\text{ph}}(\lambda; 0)$  в диапазоне 750–800 нм, где пигменты не способны к поглощению, не принимает нулевые значения. В этой области поглощение света монотонно растет с увеличением расстояния между кюветой и ИС. Это явление обусловлено неселективным рассеянием клетками микроорганизмов, которое возникает из-за резких изменений показателя преломления на межфазных границах. Вероятно, свой вклад вносит и селективное рассеяние, связанное с резкими изменениями показателя преломления пигментами, встроенными в тилакоидные мембраны, в области их спектров поглощения света [4].

На рис. 2 показаны спектры поглощения света плотной культуры, полученные на спектрофотометре МС 122А при двух положениях кюветы: стандартном  $a_{\text{ph}}(\lambda; 0)$  и на расстоянии 2 мм от входного окна ИС  $a_{\text{ph}}(\lambda; r)$ .

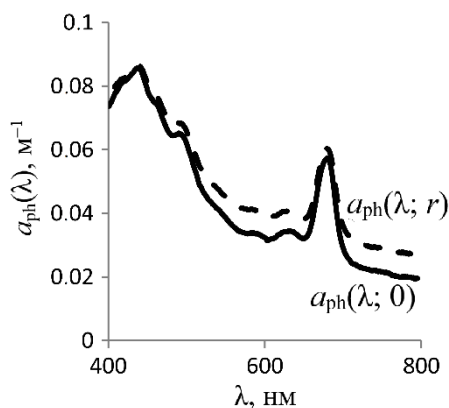


Рис. 2. Примеры спектров поглощения света культурой *Chrysolita* sp., полученных при стандартном положении кюветы –  $a(\lambda; 0)$  и на расстоянии  $r = 2$  мм от входного окна ИС –  $a(\lambda; r)$

Fig. 2. Examples of light absorption spectra of the *Chrysolita* sp. culture obtained at the standard cuvette position  $a(\lambda; 0)$  and at a distance of  $r = 2$  mm from the IS input window  $a(\lambda; r)$

Для коррекции вклада рассеяния использовали формулу (2) и рассчитали поправочный коэффициент  $L$  для некоторых значений  $\lambda$ :

$$L_{750} = \frac{a(750;r)}{a(750;r) - a(750;0)} = \frac{0.0289}{0.0289 - 0.0216} = 3.96,$$

$$L_{775} = \frac{a(775;r)}{a(775;r) - a(775;0)} = \frac{0.0276}{0.0276 - 0.02} = 3.63,$$

$$L_{800} = \frac{a(800;r)}{a(800;r) - a(800;0)} = \frac{0.0268}{0.0268 - 0.0196} = 3.72.$$

Согласно методикам [3], поправочный коэффициент  $L$  определяли как среднее значение в области 750–800 нм. Для исследуемой культуры *Chrysotila* sp. среднее значение коэффициента  $L_{\text{осл}}(r; 0)$  для трех длин волн составило в данной работе 3.77.

Используя формулу (1), рассчитаем истинное значение поглощения для каждой длины волны. Для примера представлен расчет для длины волны  $\lambda = 443$  нм:

$$\tilde{a}(443) = 0.0853 - 3.77 \cdot [0.0853 - 0.0841] = 0.081.$$

Проведя аналогичные расчеты для остальных длин волн, получим истинный спектр показателя поглощения культурой *Chrysotila* sp., компенсированный на рассеяние (рис. 3). Характерной особенностью этого спектра является отсутствие поглощения света в диапазоне 750–800 нм (рис. 3), что подтверждает качество проведенной коррекции.

Следует учитывать, что описанная методика эффективна только при высокой плотности клеток, когда культура в кювете обладает заметной окраской, различимой визуально. При низкой концентрации водорослей регистрируемые спектры содержат (при  $a_{\text{ph}}(750;0) > 0.02 \text{ м}^{-1}$ ) значительное число артефактов, которые могут быть ошибочно интерпретированы как спектральные пики. Попытка восстановления истинного спектра в таких условиях приводит к усилению шумовых выбросов и росту погрешности измерений. Для примера на рис. 4 представлены спектры для двух концентраций: культуры без разбавления (570 000 кл/мл) (рис. 4, а) и после разбавления в восемь раз (71 300 кл/мл) (рис. 4, б).

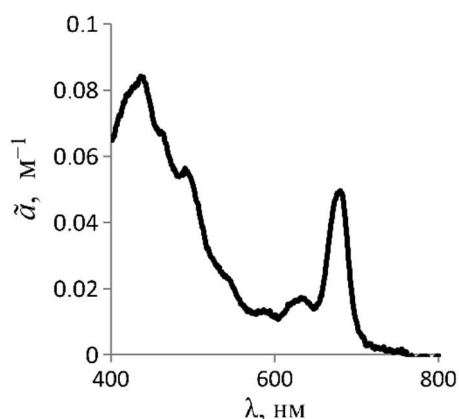


Рис. 3. Истинный спектр показателя поглощения света культурой *Chrysotila* sp., рассчитанный по выражению (1)

Fig. 3. True light absorption spectrum of the *Chrysotila* sp. culture determined by expression (1)

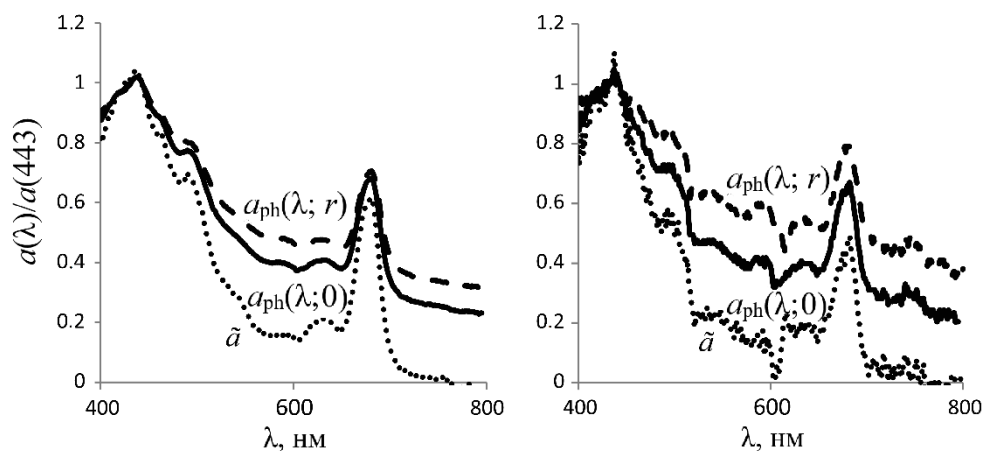


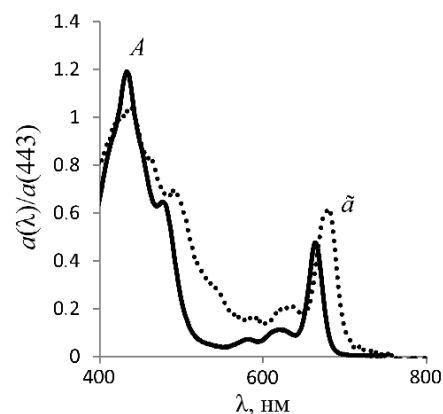
Рис. 4. Нормированные на 443 нм спектры показателя поглощения света культурой *Chrysotila* sp., полученные при стандартном положении кюветы  $a(\lambda; 0)$ , на расстоянии  $a(\lambda; r)$  от входного окна ИС, и истинные спектры  $\tilde{a}$ , рассчитанные по выражению (1) для концентрации 570 000 кл/мл (слева) и 71 300 кл/мл (справа)

Fig. 4. Absorption spectra of the *Chrysotila* sp. culture normalized to 443 nm, obtained at the standard position of the cuvette  $a(\lambda; 0)$  at a distance  $a(\lambda; r)$  from the IS input window and the true spectra  $\tilde{a}$  calculated using expression (1) for a concentration of 570,000 cells/mL (left) and 71,300 cells/mL (right)

На рис. 5 представлено сравнение истинного спектра поглощения *in vivo* (пунктирная линия) и спектра ацетонового экстракта (сплошная линия) для концентрации 570 000 кл/мл. Спектр ацетонового экстракта водорослей характеризуется смещением пиков в коротковолновую область [11, с. 304] относительно спектра *in vivo*. Это смещение обусловлено преимущественно разрушением белково-пигментных комплексов при экстракции органическими растворителями, изменением полярности среды и агрегацией/диссоциацией пигментов в ацетоне.

Рис. 5. Спектры показателя поглощения света культурой *Chrysotila* sp. (при концентрации 570 000 кл/мл), нормированные на 443 нм:  $A$  – истинный спектр, рассчитанный по выражению (1) (пунктирная линия);  $\tilde{a}$  – спектр ацетонового экстракта (сплошная линия)

Fig. 5. Light absorption spectra of the *Chrysotila* sp. culture (at a concentration of 570,000 cell/mL) normalized to 443 nm:  $\tilde{a}$  is the true spectrum calculated using expression (1),  $A$  is the spectrum of the acetone extract



Данный факт критически важен при интерпретации данных дистанционного зондирования, поскольку калибровка спутниковых приборов, как правило, обоснована на *in vitro* спектрах, тогда как натурные измерения соответствуют *in vivo* состоянию пигментов. Различие спектральных характеристик обусловлено тем, что в ацетоновых экстрактах некоторые пигменты (например, хлорофиллы) могут образовывать агрегаты (димеры, олигомеры). Агрегация часто приводит к расщеплению и смещению пиков поглощения. В нативном состоянии максимум поглощения хлорофилла ~ 660–680 нм (красная область), а в ацетоновых экстрактах пик может смещаться к 650–665 нм (гипсохромный сдвиг), что связано с потерей взаимодействия с белками [7].

### Выводы

Адаптирована методика коррекции спектров поглощения фитопланктона на рассеяние для однолучевого спектрофотометра МС 122А с ИС. Установлено, что максимально возможное удаление кюветы от ИС (2 мм) является достаточным для расчета поправочного коэффициента и получения истинного спектра поглощения, что подтверждается выходом на нулевые значения в диапазоне 750–800 нм.

Для культуры *Chrysothila* sp. рассчитано среднее значение поправочного коэффициента  $L = 3.77$  в области 750–800 нм. С использованием этого коэффициента получен истинный спектр поглощения *in vivo*, очищенный от вклада рассеяния.

Определены границы применимости методики: она эффективна только при высокой плотности клеток, когда показатель поглощения на длине волны 750 нм  $a_{ph}(750;0)$  превышает  $0.02 \text{ м}^{-1}$ . При низкой концентрации коррекция приводит к усилению шумов и появлению артефактов.

Подтверждено, что спектры ацетоновых экстрактов пигментов *Chrysothila* sp. характеризуются гипсохромным сдвигом (смещением в коротковолновую область) относительно спектров *in vivo*. Это обусловлено разрушением белково-пигментных комплексов и агрегацией пигментов в ацетоне. Данное различие необходимо учитывать при калибровке алгоритмов дистанционного зондирования фитопланктона по спутниковым данным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ritchie R. J., Sma-Air S. Using integrating sphere spectrophotometry in unicellular algal research // Journal of Applied Phycology. 2020. Vol. 32, iss. 5. P. 2947–2958. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02232-y>
2. Клочкова В. С., Лелеков А. С., Геворгиз Р. Г., Ширяев А.В. и др. Изменение спектра оптической плотности накопительной культуры *Arthrospira (Spirulina) Platensis* // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2021. Т. 6, № 4. С. 543–547. EDN AQDDHI.
3. Merzlyak M. N., Naqvi K. R. On recording the true absorption spectrum and the scattering spectrum of a turbid sample: application to cell suspensions of the cyanobacterium *Anabaena variabilis* // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2000. Vol. 58, iss. 2–3. P. 123–129. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00114-7](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00114-7)
4. Davies-Colley R. J., Pridmore R. D., Hewitt J. E. Optical properties of some freshwater phytoplanktonic algae // Hydrobiologia. 1986. Vol. 133, iss. 2. P. 165–178. <https://doi.org/10.1007/BF00031865>

5. Мерзляк М. Н., Чивкунова О. Б., Маслова И. П., Накви Р. К. и др. Спектры поглощения и рассеяния света клеточными суспензиями некоторых цианобактерий и микроводорослей // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 3. С. 464–470. EDN IJUXEZ.
6. Ли М. Е., Шибанов Е. Б., Корчёмкина Е. Н., Мартынов О. В. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 17–33. EDN VHEWVT. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2015-6-17-33>
7. Суслин В. В., Шоларь С. А., Мансурова И.М., Алатарцева О. С., Стельмах Л. В. Спектры показателей поглощения диатомовых и динофитовых водорослей и их особенности: лабораторный эксперимент // Современные проблемы оптики естественных вод : труды XII Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 25–27 октября 2023 года. Санкт-Петербург : ИО РАН, 2023. С. 107–110. EDN COXHCX.
8. Шоларь С. А., Суслин В. В., Минина Н. В., Алатарцева О. С. и др. Методические особенности измерения спектров поглощения света монокультурами в лабораторных условиях // Современные проблемы оптики естественных вод : труды XIII Всероссийской конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 8–10 октября 2025 года. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭУ, 2025. С. 245–250. EDN PJXYTC.
9. Guillard R. R. L., Ryther J. H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // Canadian Journal of Microbiology. 1962. Vol. 8, iss. 2. P. 229–239. <https://doi.org/10.1139/m62-029>
10. Копытов Ю. П., Лелеков А. С., Геворгиз Р. Г., Нехорошев М. В. и др. Методика комплексного определения биохимического состава микроводорослей // Альгология. 2015. Т. 25, № 1. С. 35–40. EDN YNDCGR. <https://doi.org/10.15407/alg25.01.035>
11. Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования / под ред. Ю. Н. Токарева, З. З. Финенко, Н. В. Шадрина. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 454 с. EDN YWHYTB.

Поступила 24.10.2025 г.; одобрена после рецензирования 16.11.2025 г.; принята к публикации 18.12.2025 г.; опубликована 31.03.2026 г.

*Об авторах:*

**Шоларь Станислав Александрович**, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0002-7242-3403**, **Scopus Author ID: 57189886286**, **ResearcherID: GSD-9744-2022**, **SPIN-код: 4220-6994**, [sa.sholar@mail.ru](mailto:sa.sholar@mail.ru)

**Суслин Вячеслав Владимирович**, заведующий отделом динамики океанических процессов, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-8627-7603**, **Scopus Author ID: 6603566261**, **ResearcherID: B-4994-2017**, **SPIN-код: 1681-7926**, [slava.suslin@mhi-ras.ru](mailto:slava.suslin@mhi-ras.ru)

**Стельмах Людмила Васильевна**, руководитель отдела экологической физиологии водорослей, главный научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), доктор биологических наук, **ORCID ID: 0000-0003-2970-0281**, **Scopus Author ID: 6603262213**, **ResearcherID: G-9892-2018**, **SPIN-код: 9099-8722**, [lustelm@mail.ru](mailto:lustelm@mail.ru)

**Минина Наталья Викторовна**, ведущий инженер, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **Scopus Author ID: 57223993379**, **SPIN-код: 5667-6274**, [mininachatan@mail.ru](mailto:mininachatan@mail.ru)

**Алатарцева Ольга Сергеевна**, младший научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-9671-2285**, **Scopus Author ID: 57963185300**, **SPIN-код: 1312-6468**, *moon-23@mail.ru*

*Заявленный вклад авторов:*

**Шолярь Станислав Александрович** – построение графического материала, обзор литературы по проблеме исследований, написание рукописи, формулировка выводов, оформление статьи, сбор материалов исследования

**Суслин Вячеслав Владимирович** – формулировка и постановка задачи, обсуждение результатов, разработка концепции, анализ результатов, написание рукописи

**Стельмах Людмила Васильевна** – формулировка и постановка задачи, разработка концепции, анализ результатов, написание рукописи, руководство исследованием

**Минина Наталья Викторовна** – сбор материалов исследования, первичная обработка и сортировка данных, обсуждение результатов

**Алатарцева Ольга Сергеевна** – сбор материалов исследования, первичная обработка и сортировка данных, обсуждение результатов

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*