

## Оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного вещества в поверхностном слое глубоководной области Черного моря

А. С. Кукушкин\*, В. В. Суслин

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*\*E-mail: kukushkinas@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.12.2019 г.

**Цель.** Исследования пространственно-временной изменчивости содержания взвешенного вещества необходимы для понимания биохимических процессов, формирующих и поддерживающих устойчивое функционирование морской экосистемы. Целью работы является оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного вещества в поверхностном слое глубоководной части Черного моря.

**Методы и результаты.** С использованием регрессионного анализа получены уравнения линейной регрессии, связывающие судовые измерения концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое в северо-восточной (июнь 2005–2015 гг.) и западной (ноябрь 2016, 2017 гг., декабрь 2017 г.) глубоководных частях моря и региональные спутниковые продукты (показатель обратного рассеяния света частицами взвеси, показатель поглощения неживым органическим веществом и концентрация хлорофилла *a*). По измеренным и рассчитанным массивам данных построены карты распределения концентраций взвешенного вещества в поверхностном слое северо-восточной части моря. Рассмотрены межгодовые изменения результатов прямых измерений концентрации взвешенного вещества, литогенного вещества и квазисинхронных с ними спутниковых региональных продуктов (показатель поглощения света неживым органическим веществом на длине волны 490 нм и показатель обратного рассеяния света частицами взвеси на длине волны 555 нм) в июне 2005–2015 гг. Отмечены повышенные концентрации взвешенного вещества в 2012 г., когда в Черном море была зарегистрирована экстремальная численность кокколитофорид. По частным коэффициентам корреляции оценена теснота связи между концентрацией взвешенного вещества и отдельными анализируемыми параметрами.

**Выводы.** Получено удовлетворительное согласие пространственных распределений содержания взвешенного вещества по измеренным и рассчитанным данным. Разница значений измеренных и рассчитанных его концентраций в течение всего периода наблюдений в среднем находилась в пределах 6–23 %. Показана возможность использования спутниковых данных для исследования пространственно-временной изменчивости содержания взвешенного вещества.

**Ключевые слова:** Черное море, взвешенное вещество, сканер цвета *MODIS*, показатель рассеяния, показатель поглощения, регрессия, корреляция.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» по теме № 0827-2019-0001 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан – атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата».

**Для цитирования:** Кукушкин А. С., Суслин В. В. Оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного вещества в поверхностном слое глубоководной области Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 5. С. 595–605. doi:10.22449/0233-7584-2020-5-595-605

# Assessment of Applicability of Satellite-Derived Ocean Color Data for Studying Variability of Suspended Matter in the Surface Layer of the Deep Part of the Black Sea

A. S. Kukushkin\*, V. V. Suslin

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*  
\*e-mail: kukushkinas@mail.ru

*Purpose.* Investigations of spatial-temporal variability of total suspended matter are necessary for understanding the biochemical processes which form and support stable functioning of a marine ecosystem. The aim of the work is to assess applicability of satellite data for studying total suspended matter variability in the surface layer of the deep part of the Black Sea.

*Methods and Results.* Application of the regression analysis yielded the linear regression equations that unite the *in situ* measurements of the total suspended matter concentrations in the surface layer in the northeastern (June, 2005–2015) and western (November, 2016, 2017 and December, 2017) deep sea areas, and the regional satellite products (the particulate backscattering coefficient, the absorption coefficient of colored detrital matter and the chlorophyll *a* concentration). Based on the measured and calculated data arrays, the maps of the total suspended matter concentrations in the surface layer of the northeastern Black Sea were constructed. The interannual changes in the *in situ* measured concentrations of the total suspended and lithogenic matters, as well as in the quasi-synchronous satellite regional products (the light absorption coefficient of colored detrital matter at 490 nm and the particulate backscattering coefficient at 555 nm) in June, 2005–2015 were considered. High total suspended matter concentrations were noted in 2012, just when extreme growth of the coccolithophorid population was observed in the Black Sea. The correlation coefficients were used to evaluate whether the relation between the total suspended matter concentration and the individual analyzed parameters was fast.

*Conclusions.* Spatial distributions of the measured and calculated total suspended matter contents showed satisfactory agreement. In course of the whole observation period, difference between the values of the measured and calculated total suspended matter concentrations was on average 6–23 %. Possibility of application of the satellite-derived ocean color data for studying spatial-temporal variability of the total suspended matter content is shown.

**Keywords:** Black Sea, total suspended matter, *MODIS*, particulate backscattering coefficient, light absorption coefficient, regression, correlation.

**Acknowledgments:** the investigation was carried out within the framework of the state task on theme No. 0827-2018-0001 “Fundamental studies of interaction processes in the ocean-atmosphere system conditioning regional spatial-temporal variability of natural environment and climate”.

**For citation:** Kukushkin, A.S. and Suslin, V.V., 2020. Assessment of Applicability of Satellite-Derived Ocean Color Data for Studying Variability of Suspended Matter in the Surface Layer of the Deep Part of the Black Sea. *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(5), pp. 547-556. doi:10.22449/1573-160X-2020-5-547-556

## Введение

Исследования пространственно-временной изменчивости содержания взвешенного вещества (ВВ), состоящего из органической и минеральной фракций, необходимы для понимания биохимических процессов, формирующих и поддерживающих устойчивое функционирование морской экосистемы [1–4], а также для изучения процессов современного осадконакопления [5].

Состав ВВ в верхнем слое моря формируется за счет поступления органических и минеральных веществ от внешних источников (аллохтонное взвешенное вещество): речных, терригенных и промышленно-бытовых стоков, абразии берегов, эоловой взвеси. Наряду с внешними источниками важ-

ную роль в формировании структуры ВВ (особенно в глубоководных районах моря) играют биологические процессы развития, отмирания и биохимической трансформации фитопланктона и бактериопланктона.

По результатам немногочисленных измерений содержания ВВ в верхнем слое Черного моря в 1960–1970-е гг. [6–8] получены представления о вертикальной структуре и составе ВВ в летний период. В 1978–1995 гг. по результатам экспериментальных исследований содержания взвешенного органического вещества была проанализирована пространственно-временная изменчивость концентрации его компонентов и их взаимосвязь в поверхностном слое и в слое фотосинтеза [3, 9, 10]. В работах [9, 11] также был оценен вклад различных источников (биогенных и терригенных) в формирование поля ВВ.

В 2000-е гг. в Институте океанологии РАН начали активно проводить комплексные исследования содержания ВВ и его вертикального потока в прибрежном и глубоководном районах северо-восточной части моря, обобщенные в работе [12]. В результате были выявлены сезонные изменения содержания ВВ, которое в глубоководной части моря в основном состояло из органической фракции, зависевшей от видового состава фитопланктона.

Такие исследования часто отличаются трудоемкостью получения данных о концентрации ВВ (отбор проб воды батометрами, их фильтрация, определение состава и т. д.) и значительными временными затратами на площадные съемки для оценки пространственного распределения ВВ. В последние десятилетия наряду с судовыми измерениями для оценок биопродуктивности отдельных районов Мирового океана, в том числе Черного моря [13, 14], содержания взвешенного органического вещества [15, 16] и концентрации ВВ [17–20] стали использоваться методы дистанционного зондирования морской поверхности.

Целью работы является оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания ВВ в поверхностном слое глубоководной части Черного моря.

### Материалы и методы

В работе использовались данные судовых измерений содержания ВВ и его минеральной фракции (литогенного вещества), полученные в поверхностном слое (0–5 м) в северо-восточной (июнь 2005–2015 гг.) и западной (ноябрь 2015, 2016 гг. и декабрь 2017 г.) глубоководных частях Черного моря [12]. Отобранные батометрами пробы морской воды фильтровали через прокаленные при температуре 450 °С стекловолокнистые фильтры *Whatman GF/F* с размером пор 0,45 мкм. Концентрация ВВ определялась весовым методом. Содержание литогенного вещества рассчитывали методом мокрой химии [21].

Для анализа также использовали среднесуточные данные сканеров цвета *MODIS-Aqua* и *MODIS-Terra* (URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>): показатель обратного рассеяния света частицами взвеси на длине волны 555 нм ( $b_{bp}$ ), показатель поглощения окрашенного растворенного органического вещества и детрита на длине волны 490 нм ( $a_{CDM}$ ) (далее – показатели рассеяния и поглощения) и концентрацию хлорофилла *a* ( $C_{chl}$ ), полученные одновременно с результатами измерений ВВ. Данные наблюдений сканеров цвета были обработаны с использованием региональных алгоритмов, учитывающих особенности вод Черного моря [22–24].

Связь между измеренной концентрацией ВВ и показателями сканеров цвета, полученными в то же время или с разницей не более двух суток, оценивалась по уравнениям линейной регрессии между ними [25]. Усреднялись спутниковые данные, полученные на участках моря с координатами, совпадающими с координатами станций судовых измерений. Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 1, в которой, кроме свободного члена уравнения регрессии  $a$  и коэффициента регрессии  $b$ , представлены также коэффициенты детерминации  $R^2$  и корреляции  $R$ , стандартная ошибка  $\sigma$  и число пар параметров  $N$ .

Т а б л и ц а 1  
T a b l e 1

**Параметры уравнений регрессии ( $y = ax + b$ ), связывающие концентрацию ВВ с показателями рассеяния ( $b_{bp}$ ) и поглощения ( $a_{cdm}$ ) и концентрацией хлорофилла  $a$  ( $C_{chl}$ ) по данным сканеров MODIS в глубоководной части Черного моря в 2005–2017 гг.**

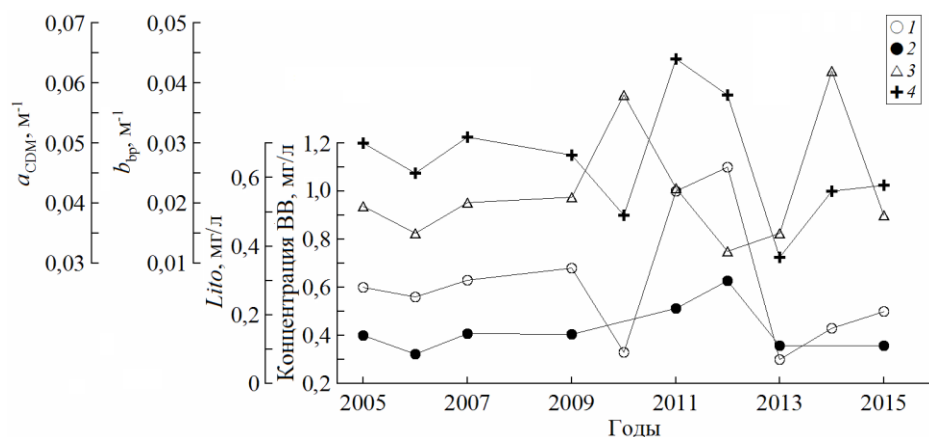
**Parameters of the regression equations ( $y = ax + b$ ) connecting the total suspended matter concentration and the MODIS regional products: the scattering coefficient ( $b_{bp}$ ), the absorption coefficient ( $a_{cdm}$ ) and the chlorophyll  $a$  ( $C_{chl}$ ) concentration in the deep part of the Black Sea in 2005–2017**

Год / Year	Месяц / Month	$a$	$b$	$R/R^2$	$\sigma$	$N$
$x = b_{bp}$						
2005–2017	Июнь / June	125,00	–0,150	0,73/0,53	0,170	65
2015–2016	Ноябрь / November	39,60	–0,110	0,93/0,87	0,040	9
2017	Декабрь / December	55,90	–0,270	0,90/0,81	0,024	6
$x = a_{cdm}$						
2005–2017	Июнь / June	16,50	–0,190	0,85/0,73	0,140	70
2015–2016	Ноябрь / November	6,80	–0,120	0,88/0,78	0,060	9
2017	Декабрь / December	4,10	–0,008	0,81/0,66	0,032	6
$x = C_{chl}$						
2005–2017	Июнь / June	4,25	0,070	0,73/0,53	0,180	67
2015–2016	Ноябрь / November	0,58	–0,170	0,96/0,93	0,030	9
2017	Декабрь / December	0,31	–0,100	0,81/0,76	0,026	6

Связь между некоторыми парами параметров из табл. 1, а также между концентрацией литогенного вещества и спутниковыми показателями приведена на рис. 1, 2. Для оценки связи между отдельными параметрами также использовали парные, множественные и частные коэффициенты корреляции [25]. Статистическую значимость рассчитанных коэффициентов корреляции определяли по стандартному алгоритму с использованием  $t$ -критерия Стьюдента.







**Р и с. 4.** Межгодовые изменения измеренных концентраций ВВ (1) и литогенного вещества (2), а также показателей рассеяния (3) и поглощения (4) по данным сканера цвета MODIS в северо-восточной части Черного моря в июне 2005–2015 гг.

**F i g. 4.** Interannual changes in the measured concentrations of total suspended matter (1) and lithogenic substance (2), and also in the regional MODIS products: the particulate backscattering coefficient (3) and the absorption coefficient of colored detrital matter (4) in the northeastern Black Sea in June, 2005–2015

Разница значений измеренных и рассчитанных концентраций ВВ в течение всего периода наблюдений в среднем находилась в пределах 6–23 %. Значительная их разница (~ 60 %) в случае расчета ВВ по  $b_{bp}$  была отмечена в 2012 г., когда измеренная концентрация ВВ была максимальной, и в 2010 и 2013 гг., когда она была минимальной. Отчасти это может быть связано с несовпадением дат судовых и спутниковых наблюдений.

Степень тесноты связи между измеренной концентрацией ВВ и спутниковыми данными, используемыми для расчета его концентрации, может быть оценена по парным и множественным коэффициентам корреляции и детерминации (табл. 2).

Анализ данных из табл. 2 показал, что во все сезоны (июнь, ноябрь, декабрь) в течение всего периода наблюдений эти коэффициенты довольно высоки, что свидетельствует о тесной связи концентрации ВВ и спутниковых данных. При этом надо понимать, что такая связь для каждой пары параметров обеспечивается с учетом связи между всеми анализируемыми параметрами. Для определения «чистой» связи между ВВ и отдельными параметрами при исключении влияния на них других двух параметров рассчитаем частные коэффициенты 2-го порядка (табл. 3). Анализ данных табл. 3 показал, что в северо-восточном районе моря наиболее тесная связь наблюдалась между концентрациями ВВ и литогенного вещества (коэффициент корреляции равен 0,78–0,83) и несколько слабее – между ВВ и показателем рассеяния (коэффициент корреляции равен 0,52–0,65). Такой результат вполне логичен, так как свет рассеивается частицами взвеси, а литогенное вещество входит в ее состав. Кроме того, на формирование поля взвеси в этом районе влияют воды шельфа, в которых содержание ВВ может быть достаточно высоким (рис. 3).

Т а б л и ц а 2  
T a b l e 2

Парные ( $r$ ) и множественные коэффициенты корреляции ( $R$ ) и детерминации ( $R^2$ ) между концентрацией ВВ и региональными спутниковыми продуктами ( $b_{bp}$ ,  $a_{CDM}$ ,  $C_{chl}$ ) и концентрацией литогенного вещества ( $Lito$ ) в глубоководной части Черного моря в 2005–2017 гг.  
Paired ( $r$ ) and multiple coefficients of correlation ( $R$ ) and determination ( $R^2$ ) between the total suspended matter concentration and the regional satellite products ( $b_{bp}$ ,  $a_{CDM}$ ,  $C_{chl}$ ), and the lithogenic substance ( $Lito$ ) concentration in the deep part of the Black Sea in 2005–2017

Год / Year	Месяц / Month	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{23}$	$R/R^2$
СВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ВВ С $b_{bp}$ И $a_{CDM}$ ( $BB - b_{bp}$ , $a_{CDM}$ ) / Connection of suspended matter (SM) concentration with $b_{bp}$ and $a_{CDM}$ ( $SM - b_{bp}$ , $a_{CDM}$ )					
2005–2017	Июнь / June	0,73	0,76	0,61	0,83/0,69
2015–2016	Ноябрь / November	0,93	0,88	0,86	0,94/0,89
2017	Декабрь / December	0,93	0,81	0,67	0,96/0,93
ВВ – $b_{bp}$ , $C_{chl}$ / ВВ – $b_{bp}$ , $C_{chl}$					
2005–2017	Июнь / June	0,73	0,73	0,79	0,77/0,6
2015–2016	Ноябрь / November	0,93	0,97	0,90	0,98/0,96
2017	Декабрь / December	0,93	0,87	0,70	0,98/0,96
ВВ – $a_{CDM}$ , $C_{chl}$ / ВВ – $a_{CDM}$ , $C_{chl}$					
2005–2017	Июнь / June	0,76	0,73	0,62	0,83/0,69
2015–2016	Ноябрь / November	0,88	0,97	0,83	0,93/0,96
2017	Декабрь / December	0,81	0,87	0,83	0,88/0,78
ВВ – $b_{bp}$ , $Lito$					
2005–2017	Июнь / June	0,73	0,82	0,72	0,84/0,71
2015–2016	Ноябрь / November	0,93	0,79	0,83	0,93/0,86
2017	Декабрь / December	0,93	0,76	0,82	0,93/0,86
ВВ – $a_{CDM}$ , $Lito$					
2005–2017	Июнь / June	0,76	0,82	0,73	0,85/0,73
2015–2016	Ноябрь / November	0,88	0,79	0,88	0,88/0,78
2017	Декабрь / December	0,81	0,76	0,77	0,84/0,70



**Частные коэффициенты корреляции 2-го порядка между концентрацией ВВ и региональными спутниковыми продуктами ( $b_{bp}$ ,  $a_{CDM}$ ,  $C_{chl}$ ) и концентрацией литогенного вещества (*Lito*) в северо-восточном и западном глубоководных районах Черного моря**  
**Particular second-order correlation coefficients between the total suspended matter concentration, the regional satellite products ( $b_{bp}$ ,  $a_{CDM}$ ,  $C_{chl}$ ) and the lithogenic substance (*Lito*) concentration in the northeastern and western deep regions of the Black Sea**

Район / Area	Показатели / Parameters	Коэффициент корреляции при исключении из расчета показателей / Correlation coefficients with the excluded from the calculation of the indicators					
		$a_{CDM}$ , $C_{chl} / C_{chl}$	$a_{CDM}$ , <i>Lito</i>	$C_{chl} / C_{chl}$ , <i>Lito</i>	$b_{bp}$ , $C_{chl}$	$b_{bp}$ , <i>Lito</i>	$b_{bp}$ , $a_{CDM}$
Северо-восточный / Northeastern	$b_{bp}$	0,62	0,65	0,52	–	–	–
	$a_{CDM}$	–	–	–0,18	0,33	–0,20	–
	$C_{chl} / C_{chl}$	–	0,46	–	–	–0,10	0,23
	<i>Lito</i>	0,78	–	–	0,84	–	0,83
Западный / Western	$b_{bp}$	0,38	0,73	0,41	–	–	–
	$a_{CDM}$	–	–	0,43	0,40	0,53	–
	$C_{chl} / C_{chl}$	–	0,90	–	–	0,83	0,86
	<i>Lito</i>	0,01	–	–	0,07	–	–0,37

В западном районе моря наиболее тесная связь была отмечена между концентрациями ВВ и хлорофилла *a* (коэффициент корреляции равен 0,83–0,90). Связь между ВВ и показателями рассеяния и поглощения несколько слабее (в среднем коэффициент корреляции равен 0,45–0,50). Отсутствие связи было отмечено между ВВ и литогенным веществом. Такие результаты анализа связи, видимо, связаны с сезонной изменчивостью развития фитопланктона и условиями формирования поля ВВ в западном районе моря.

### З а к л ю ч е н и е

С использованием полученных уравнений линейной регрессии рассчитаны концентрации суммарного взвешенного вещества ВВ по спутниковым данным (показатели рассеяния и поглощения, концентрация хлорофилла *a*). Разница значений измеренных и рассчитанных концентраций ВВ в течение всего периода наблюдений в среднем находилась в пределах 6–23 %. Проведенное сравнение пространственных распределений измеренных и рассчитанных концентраций ВВ в северо-восточной глубоководной части Черного моря показало удовлетворительное их согласие. Для межгодовых изменений концентрации ВВ и литогенного вещества и показателей рассеяния и поглощения также отмечено удовлетворительное согласие.

С использованием рассчитанных частных коэффициентов корреляции оценена теснота связи между концентрацией ВВ и отдельными анализируемыми параметрами. В северо-восточной глубоководной части моря в июне 2005–2015 гг. наиболее тесная связь получена между концентрациями ВВ и литогенного вещества и между концентрацией ВВ и показателем рассеяния, для которых коэффициент корреляции изменялся в пределах 0,78–0,83 и 0,52–0,65 соответственно. В западном районе частные коэффициенты корреляции между концентрациями ВВ и хлорофилла *a*, а также между концентрацией ВВ и показателями рассеяния и поглощения были равны 0,83–0,90 и 0,45–0,50 соответственно.

Приведенные примеры использования рассчитанных данных иллюстрируют возможность использования спутниковых данных для исследования пространственно-временной изменчивости ВВ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. М. : Наука, 1977. 256 с.
2. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб. : Наука, 2000. 147 с.
3. Бурлакова З. П., Еремеева Л. В., Коновалов С. К. Сезонная и пространственная изменчивость содержания взвешенного органического вещества в деятельном слое Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 1998. № 5. С. 30–62.
4. Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря / Под ред. В. Н. Еремеева, С. К. Коновалова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 357 с.
5. Лисицын А. П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М. : Наука, 1991. 269 с.
6. Емельянов Е. М. Некоторые данные по взвеси Черного и Азовского морей // Океанология. 1962. Т. 2, вып. 4. С. 664–672.
7. Витюк Д. М. Взвешенное вещество и его компоненты в Черном море // Гидробиологический журнал. 1975. Т. 11, № 1. С. 12–18.
8. Тримонис Э. С., Шимкус К. М. Количественное распределение взвеси в Черном море // Океанология. 1976. Т. 16, № 4. С. 648–654.
9. Vostokov S. V. Suspended matter as an index of productivity in the Western Black Sea (application for productivity and eutrophication control) // Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and Nord Sea / Eds. E. Özsoy and A. Mikaelyan. Dordrecht : Springer, 1997. P. 211–221. (NATO ASI Series (Series 2: Environment) ; Vol. 27).
10. Kukushkin A. S. Variability of suspended organic matter in the surface layer of the Black Sea (deep-sea areas) // Oceanology. 2014. Vol. 54, iss. 5. P. 606–617. <https://doi.org/10.1134/S0001437014050099>
11. Dimitrov P. S., Stoyanov A. S., Shtereva G. P. On the distribution of suspended material in western part of the Black Sea-water area // Dokladi na Bolgarskata Akademiya na Naukite. 1981. Vol. 34, iss. 10. P. 1429–1431.
12. Вертикальные потоки рассеянного осадочного вещества в глубоководной части Черного моря / А. А. Ключиткин [и др.] // Система Черного моря. М. : Научный мир, 2018. С. 350–397. doi:10.29006/978-5-91522-473-4.2018
13. Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas / O. V. Kopelevich [et al.] // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2004. Vol. 51, iss. 10–11. P. 1063–1091. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.10.009>

14. *Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я.* Оценка продуктивности фитопланктона Черного моря по спутниковым данным // Доклады Академии наук. 2010. Т. 432, № 6. С. 845–848.
15. *Кукушкин А. С., Пархоменко А. В.* Оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного органического вещества в поверхностном слое Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 1. С. 195–205. doi:10.21046/2070-7401-2018-15-1-195-205
16. *Кукушкин А. С., Пархоменко А. В.* Изменчивость содержания взвешенного органического вещества в юго-западной части Крымского побережья по данным судовых и спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 1. С. 137–146. doi:10.21046/2070-7401-2019-16-1-137-146
17. Оценка по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей / С. В. Вазюля [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 4. С. 31–41.
18. Retrieval of coccolithophore calcite concentration from SeaWiFS imagery / H. R. Gordon [et al.] // Geophysical Research Letters. 2001. Vol. 28, iss. 8. P. 1587–1590. <https://doi.org/10.1029/2000GL012025>
19. *Суетин В. С., Королев С. Н.* Оценка особенностей изменчивости оптических свойств вод Черного моря по данным спутниковых приборов MODIS и SeaWiFS // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 4. С. 357–368. doi:10.22449/0233-7584-2018-4-357-368
20. Определение концентрации взвешенного вещества в Черном море по данным спутника MODIS / Д. А. Кременчуцкий [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 29. С. 5–9.
21. *Гельман Е. М., Старобина И. З.* Фотометрические методы определения породообразующих элементов в рудах, горных породах и минералах. М. : ГЕОХИ АН СССР, 1976. 69 с.
22. *Suslin V. V., Churilova T. Ya.* A regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-*a* and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners // International Journal of Remote Sensing. 2016. Vol. 37, iss. 18. P. 4380–4400. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1211350>
23. The Black Sea IOPs based on SeaWiFS data / V. V. Suslin [et al.] // Proceedings of SPIE, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. SPIE, 2016. Vol. 10035. 1003531. doi:10.1117/12.2248332
24. Use of SeaWiFS data to estimate water optical properties of the black sea / V. V. Suslin [et al.] // Proceedings of SPIE, Current Research on Remote Sensing, Laser Probing, and Imagery in Natural Waters. SPIE, 2007. Vol. 6615. 661509. doi:10.1117/12.740445
25. *Эренберг А.* Анализ и интерпретация статистических данных. М. : Финансы и статистика, 1981. 406 с.

*Об авторах:*

**Кукушкин Александр Сергеевич**, старший научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0003-4673-1004**, **Scopus Author ID: 57197414211**, [kukushkinas@mail.ru](mailto:kukushkinas@mail.ru)

**Суслин Вячеслав Владимирович**, ведущий научный сотрудник, отдел динамики океанических процессов, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 00000-0002-8627-7603**, **Scopus Author ID: 6603566261**, [slava.suslin@mhi-ras.ru](mailto:slava.suslin@mhi-ras.ru)