Оценка изменчивости содержания взвешенного вещества в глубоководной части Чёрного моря по спутниковым данным

А. С. Кукушкин

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия

E-mail: kukushkinas@mail.ru

С использованием регрессионного анализа получены уравнения линейной регрессии, связывающие натурные измерения концентрации взвешенного вещества (ВВ) в поверхностном слое в северо-восточной (июнь 2005–2015 гг.) и северной (ноябрь 2016, 2017 гг., декабрь 2017 г.) глубоководных частях Чёрного моря и региональные спутниковые (сканер цвета MODIS) продукты (показатель рассеяния назад взвешенными частицами на длине волны 555 нм, показатель поглощения неживым органическим веществом на длине волны 490 нм, концентрация хлорофилла *a*). По измеренным и рассчитанным массивам данных построены карты концентраций ВВ в поверхностном слое северо-восточной и северной частях моря. Получено удовлетворительное согласие пространственных распределений по измеренным и рассчитанным данным по содержанию ВВ. Рассмотрены межгодовые сезонные изменения измеренных и рассчитанных по спутниковым данным концентраций ВВ. Отмечены повышенные концентрации ВВ в 2012 г., когда в Чёрном море наблюдалось экстремальное цветение кокколитофорид. Различия значений измеренных и рассчитанных концентраций ВВ в течение всего периода наблюдений в среднем находилось в пределах 5–20 %. Показана возможность использования спутниковых данных для исследования пространственно-временной изменчивости ВВ.

Ключевые слова: взвешенное вещество, сканер цвета MODIS, показатель рассеяния, показатель поглощения, концентрация хлорофилла *a*, уравнения регрессии, Чёрное море

Одобрена к печати: 18.03.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-184-191

Введение

Взвешенное вещество (ВВ), состоящее из органической и минеральной фракций, является важным компонентом морской экосистемы. Исследования состава и пространственно-временной изменчивости его содержания необходимы для понимания интенсивности биохимических процессов, формирующих и поддерживающих устойчивое функционирование морской экосистемы (Алимов, 2000; Романкевич, 1977), и для изучения процессов современного осадконакопления (Лисицын, 1991).

Состав ВВ в верхнем слое моря формируется за счёт поступления органических и минеральных веществ от внешних источников: речных, терригенных и промышленно-бытовых стоков, абразии берегов, золотой взвеси. Наряду с внешними источниками важную 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 Чёрного моря в 1960–1970-е гг. (Емельянов, 1968; Тримонис, Шимкус, 1976) были получены представления о вертикальной структуре и составе ВВ в летний период. Результаты проведённых в глубоководной части моря в 1978–1995 гг. экспериментальных исследований пространственно-временной изменчивости концентрации компонентов взвешенного органического вещества и их взаимосвязь в поверхностном слое и в слое фотосинтеза были проанализированы и описаны в работах (Бурлакова и др., 1998; Kukushkin, 2014; Vostokov, 1997). В работе (Vostokov, 1997) по наблюдениям в глубоководном и шельфовом районах западной части моря в мае 1984 г. также был оценён вклад органических и терригенных компонентов в фор-

мирование поля ВВ. Проведённые исследования содержания ВВ в глубоководной части моря не позволили получить представление о пространственной и временной (сезонной и межгодовой) его изменчивости.

В 2000-е гг. в Институте океанологии Российской академии наук начали активно проводиться комплексные исследования содержания ВВ и его вертикального потока в прибрежном и глубоководном районах в северной и северо-восточной частях моря, обобщённые в работе (Клювиткин и др., 2018). Проведённые исследования выявили сезонные (лето, осень) изменения содержания ВВ, которое в глубоководной части моря в основном состояло из органической фракции, зависящей от видового состава фитопланктона.

Недостаток таких исследований во многом связан с трудоёмкостью получения данных о концентрации ВВ (отбор проб воды батометрами, их фильтрация, определение состава и т.д.) и значительными временными затратами на площадные съёмки для оценки её пространственного распределения. В то же время в последние десятилетия наряду с судовыми измерениями для оценок биопродуктивности отдельных районов Мирового океана, в том числе Чёрного моря (Финенко и др., 2010; Kopelevich et al., 2004), содержания взвешенного органического вещества (Кукушкин, Пархоменко, 2018, 2019) и концентрации ВВ (Вазюля и др., 2014; Suetin, Korolev, 2018) стали использоваться методы дистанционного зондирования морской поверхности.

Целью настоящей работы является оценка применимости спутниковых данных для исследования пространственно-временной изменчивости содержания ВВ в поверхностном слое глубоководной части Чёрного моря.

Материалы и методы

В работе использовались данные судовых измерений содержания ВВ, полученные в июне 2005–2015 гг. в северо-восточной и в ноябре 2015, 2016 гг., декабре 2017 г. в поверхностном слое (0–5 м) в северной глубоководных частях Чёрного моря (Клювиткин и др., 2018). Отобранные батометрами пробы морской воды фильтровали через прокалённые при температуре 450 °С стекловолокнистые фильтры “Whatman” GF/F с размерами пор 0,45 мкм. Концентрация ВВ определялась весовым методом.

Для анализа также использовали среднесуточные данные сканера цвета MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>): показатель рассеяния назад взвешенными частицами на длине волны 555 нм (b_{bp}), показатель поглощения неживым органическим веществом на длине волны 490 нм (a_{cdm}) (далее — показатели рассеяния и поглощения) и концентрация хлорофилла a (C_{chl}), полученные одновременно с результатами измерений ВВ. Данные наблюдений сканера цвета были обработаны с использованием региональных алгоритмов (Suslin, Churilova, 2016; Suslin et al., 2016).

Связь между измеренной концентрацией ВВ в июне, ноябре и декабре и данными сканера цвета оценивалась по уравнениям линейной регрессии (Румшинский, 1970). Процедура выбора пикселя (подспутниковой точки) следующая. Программно в суточном (дата станции) массиве спутниковых данных находился пиксель, координаты которого совпадали с координатами станции. Значение этого пикселя использовалось в регрессионном анализе. В случае его отсутствия границы участка поиска расширялись на 1 км (1 пиксель) по широте и долготу в обе стороны от координат станции. Значения попавших в этот участок пикселей усреднялись и использовались в регрессионном анализе. При отсутствии подспутниковой точки в день проведения станции процедура её поиска продолжалась с использованием спутниковых данных, полученных в предшествующий или последующий день. Полученные в январе 1988 г. (25-й рейс Научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Водяницкий»), мае 1984 г. (6-й рейс НИС «Витязь») и в апреле 1993 г. (41-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», 30-й рейс НИС «Профессор Колесников») в глубоководной части моря данные измерений концентрации ВВ и хлорофилла a были использованы для оценки связи между ними в зимний и весенний периоды. Результаты регрессионного анализа приведены

в *таблице*, где кроме свободного члена уравнения регрессии a и коэффициента регрессии b также представлены коэффициенты детерминации R^2 и корреляции R , стандартная ошибка σ и число пар параметров N .

Параметры уравнений регрессии ($y = ax + b$), связывающие концентрацию взвешенного вещества (TSM, мг/л) с региональными спутниковыми продуктами (показатель рассеяния (b_{br} , m^{-1}), показатель поглощения (a_{cdm} , m^{-1}), концентрация хлорофилла a (C_{chl} , mg/m^3)) и с измеренной в зимне-весенний период концентрацией хлорофилла a в глубоководной части Чёрного моря

Период	Параметры уравнения						
	y	x	a	b	R^2/R	σ	N
Зима 1988 г.	TSM	$C_{\text{хл}}$	0,2	0,35	0,64/0,42	0,28	30
Весна 1984, 1993 гг.		$C_{\text{хл}}$	0,6	0,3	0,70/0,49	0,17	18
Июнь 2005–2015 гг.		b_{bp}	41	−0,15	0,53/0,73	0,17	65
		a_{cdm}	17	−0,2	0,58/0,76	0,19	65
		$C_{\text{хл}}$	1,4	0,07	0,53/0,73	0,18	65
Ноябрь 2015, 2016 гг.		b_{bp}	40	−0,11	0,87/0,93	0,04	9
		a_{cdm}	8,4	−0,18	0,83/0,91	0,01	9
		$C_{\text{хл}}$	0,58	−0,17	0,93/0,96	0,03	9
Декабрь 2017 г.		b_{bp}	56	−0,24	0,81/0,9	0,02	6
		a_{cdm}	4,5	−0,03	0,55/0,74	0,04	6
		$C_{\text{хл}}$	0,31	−0,1	0,76/0,81	0,03	6

Связь между некоторыми парами параметров из *таблицы* и спутниковыми показателями приведена на *рис. 1*.

Рис. 1. Связь между измеренной концентрацией ВВ (TSM — Total Suspended Matter) и региональными спутниковыми продуктами: показателем рассеяния назад взвешенными частицами на длине волны 555 нм (b_{br}) (а), показателем поглощения неживым органическим веществом на длине волны 490 нм (a_{cdm}) (б) и концентрацией хлорофилла a (C_{chl}) (в) — в глубоководной области северо-восточной части Чёрного моря в июне 2005–2015 гг.

Результаты и обсуждение

Используя уравнения регрессии, связывающие концентрацию ВВ и значения показателей рассеяния, поглощения и концентрацию хлорофилла a (см. *таблицу*), а также доступный массив спутниковых данных, полученный в период судовых её наблюдений, можно рассчитать

концентрацию ВВ в точках с координатами станций, на которых она измерялась. По измеренным и рассчитанным массивам данных были построены карты распределения концентрации ВВ (рис. 2, 3). При этом использовались данные на станциях, расположенных на глубинах более 300 м. В июне в северо-восточной части моря повышенная концентрация ВВ была измерена на ближних к берегу вдольбереговых станциях (см. рис. 2), что, видимо, связано с влиянием более мутных прибрежных вод. При удалении от берега и увеличении глубины она снижалась. Сравнение распределения и абсолютных величин измеренной и рассчитанной концентрации ВВ показало удовлетворительное их совпадение. Осенью в северной части моря наблюдалось более низкое содержание ВВ (см. рис. 3) по сравнению с северо-восточной частью в летний период. В то же время абсолютные величины рассчитанной и измеренной концентрации ВВ в осенний период были близки, а их распределение удовлетворительно согласовывалось, что свидетельствует о корректности выполненных расчётов и подтверждает возможность применения спутниковых данных для исследования изменчивости распределения содержания ВВ.

Рис. 2. Распределение измеренной (а) и рассчитанной по показателю рассеяния (б) и показателю поглощения (в) концентрации ВВ в июне 2005–2015 гг. Точки — станции

Рис. 3. Распределение измеренной (а) и рассчитанной по показателю рассеяния (б) и концентрации хлорофилла а (в) концентрации ВВ в осенние периоды 2015–2017 гг. Точки — станции

Проведённое в работах (Кукушкин, Пархоменко, 2018; Kukushkin, 2014) сравнение результатов одновременных судовых и спутниковых (CZCS — Coastal Zone Color Scanner, SeaWiFS — sea-viewing wide field-of-view sensor) наблюдений концентрации хлорофилла а в различные сезоны в глубоководной области моря показали хорошее их согласие (различие — 5–20 %). Поэтому в связи с отсутствием одновременных наблюдений ВВ и спутниковых

измерений в зимне-весенний период регрессионные уравнения для расчёта концентрации ВВ были получены с использованием измеренной концентрации хлорофилла *a* (см. таблицу). Использование спутниковых данных для расчёта концентрации ВВ в годовом цикле позволило восполнить недостаток натурных наблюдений в период 1997–2017 гг. Различие измеренной и рассчитанной концентрации ВВ находилось в пределах 5–20%. Сезонные межгодовые их изменения в поверхностном слое глубоководной области моря приведены на рис. 4.

Рис. 4. Межгодовые изменения концентрации ВВ, рассчитанной по концентрации хлорофилла *a* (1) и показателю рассеяния (2) по данным сканера цвета MODIS в зимний (а), весенний (б), летний (в) и осенний (г) сезоны в глубоководной области моря и измеренной (3) в июне в северо-восточной части моря и осенью — в северной

Анализ межгодовой изменчивости содержания ВВ, состоящего из частиц органического и минерального происхождения, предполагает необходимость учёта влияния на их изменчивость различных природных факторов. Такой анализ представляет самостоятельный интерес и в настоящей работе выполняться не будет. Качественный анализ межгодовых изменений рассчитанной и измеренной концентрации ВВ показал, что в отдельные временные интервалы рассчитанные по $C_{\text{хл}}$ и b_{bp} его концентрации различаются. Так, рассчитанная по b_{bp} концентрация в зимние периоды 2005–2007 гг. (см. рис. 4а) и летом в 1998–2000, 2006–2008 и 2011–2015 гг. (см. рис. 4в) была выше по сравнению с концентрацией, рассчитанной по $C_{\text{хл}}$. Такие различия отчасти могут быть связаны с тем, что расчёт содержания ВВ по концентрации хлорофилла *a*, являющейся важной функциональной характеристикой фитопланктона, учитывает только его клетки (живая органика), а b_{bp} определяется рассеянием света за счёт всех частиц взвеси. В то же время весной 2003–2005 и 2007–2010 гг. (см. рис. 4б) концентрация ВВ, рассчитанная по $C_{\text{хл}}$, была выше концентрации, рассчитанной по b_{bp} . В осенние периоды (см. рис. 4г) концентрации ВВ, рассчитанные по этим показателям, были близки и хорошо совпадали с измеренными его концентрациями в 2015–2017 гг. Также отметим удовлетворительное совпадение измеренной в июне 2005–2015 гг. и рассчитанной по b_{bp} концентрации ВВ. Максимальное её значение, зарегистрированное в июне 2012 г., совпало с наблюдавшимся в это время в Чёрном море экстремально интенсивным цветением кокколитофорид. Также повышенная концентрация ВВ была получена в 2002, 2006 и 2008 гг., когда уровень цветения кокколитофорид был выше среднего. В 2010 и 2013–2015 гг. пониженное содержание ВВ наблюдалось в периоды низкой интенсивности их цветения.

Заключение

С использованием регрессионного анализа получены уравнения линейной регрессии, связывающие данные натурных измерений концентрации ВВ в поверхностном слое в северо-восточной и северной глубоководной частях Чёрного моря и региональные спутниковые продукты (показатели рассеяния и поглощения света, концентрация хлорофилла *a*). Получено удовлетворительное согласие пространственного распределения, построенного по измеренной и рассчитанной концентрации ВВ. Рассмотрены межгодовые сезонные изменения измеренной и рассчитанной по спутниковым данным концентрации ВВ. Отмечена повышенная концентрация ВВ в 2012 г., когда в Чёрном море наблюдалось экстремально высокое цветение кокколитофорид. Различие значений измеренной и рассчитанной концентрации ВВ в течение всего периода наблюдений в среднем находилось в пределах 5–20 %. Удовлетворительное совпадение абсолютных величин измеренной (июнь, ноябрь, декабрь) и рассчитанной (лето, осень) по показателю рассеяния концентрации ВВ, а также близость распределения их межгодового изменения с межгодовым изменением интенсивности цветения кокколитофорид по сравнению с рассчитанным значением концентрации ВВ по концентрации хлорофилла *a* позволяет сделать вывод о предпочтительном использовании для расчётов в летний и осенний периоды показателя рассеяния b_{bp} . В дальнейшем желательно получить новые данные измерений содержания ВВ в годовом цикле для уточнения полученных в работе результатов.

Приведённые примеры использования рассчитанных данных иллюстрируют возможность применения спутниковой информации для исследования пространственно-временной изменчивости содержания взвешенных веществ.

Автор выражает благодарность анонимному рецензенту за доброжелательные и конструктивные замечания по содержанию первого варианта работы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт Российской академии наук» по теме № 0827-2019-0001 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан — атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата».

Литература

1. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
2. Бурлакова З. П., Еремеева Л. В., Коновалов С. К. Сезонная и пространственная изменчивость содержания взвешенного органического вещества в деятельном слое Чёрного моря // Морской гидрофиз. журн. 1998. № 5. С. 30–62.
3. Вазюля С. В., Копелевич О. В., Шеберстов С. В., Артемьев В. А. Оценка по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 31–41.
4. Емельянов Е. М. Некоторые данные по взвеси Чёрного и Азовского морей // Океанология. 1968. Т. 2. Вып. 4. С. 664–672.
5. Ключиткин А. А., Кравчишина М. Д., Лисицын А. П., Демина Л. Л., Дара О. М., Новигатский А. Н., Русанов И. И., Соломатина А. С. Вертикальные потоки рассеянного осадочного вещества глубоководной части в Чёрном море // Система Чёрного моря. М.: Научный мир, 2018. С. 350–397.
6. Кукушкин А. С., Пархоменко А. В. Оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного органического вещества в поверхностном слое Чёрного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 195–205.
7. 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.
8. Лисицын А. П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М.: Наука, 1991. 270 с.

9. Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
10. Румишинский Л. З. Элементы теории вероятности. М.: Наука, 1970. 256 с.
11. Тримонис Э. С., Шимкус К. М. Количественное распределение взвеси в Черном море // Океанология. 1976. Т. 16. Вып. 4. С. 648–654.
12. Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я. Оценка продуктивности фитопланктона Черного моря по спутниковым данным // Докл. Российской акад. наук. 2010. Т. 432. № 6. С. 845–848.
13. Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Ershova S. V., Sheberstov S. V., Evdoshenko M. A. Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas // Deep-Sea Research II. 2004. V. 51. P. 1063–1091.
14. Kukushkin A. S. Variability of suspended organic matter in the surface layer of the Black Sea (deep-sea areas) // Oceanology. 2014. V. 54. No. 5. P. 606–617.
15. Suetin V. S., Korolev S. N. Estimating specific features of the optical property variability in the Black Sea waters using the data of SeaWiFS and MODIS satellite instruments // Physical Oceanography. 2018. V. 25. No. 4. P. 330–340.
16. 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 // Intern. J. Remote Sensing. 2016. V. 37. No. 18. P. 4380–4400.
17. Suslin V., Pryahina S., Churilova T., Slabakova V. The Black Sea iops based on SeaWiFS data // 22nd Intern. Symp. Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE. 2016. V. 10035. P. 1003531.
18. 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. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 211–221.

Estimation of the variability of suspended matter content in the deep-water part of the Black Sea using satellite data

A. S. Kukushkin

*Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: kukushkinas@mail.ru*

Using regression analysis, linear regression equations are obtained that link ship measurements of the total suspended matter (TSM) concentration in the surface layer in the northeastern (June 2005–2015) and northern (November 2016, 2017, December 2017) deep-sea parts of the Black Sea and regional satellite (MODIS color scanner) products (the particle backscattering coefficient at 555 nm, the light absorption coefficient of colored detrital matter at 490 nm and the concentration of chlorophyll *a*). Maps of TSM concentrations in the surface layer of the northeastern and northern parts of the sea are constructed using the measured and calculated datasets. A satisfactory agreement of spatial distributions for measured and calculated TSM data is obtained. Interannual seasonal changes in the measured and the calculated TSM concentrations from satellite data during 1997–2017 are considered. Increased TSM concentrations were noted in June 2012, when extremely strong coccolithophorides blooming was observed in the Black Sea. The difference between the measured and the calculated TSM concentrations during the entire observation period was in the average range of 5–20 %. It is shown that satellite data can be used to study the spatial and temporal variability of TSM.

Keywords: total suspended matter, MODIS, particulate backscattering coefficient, light absorption coefficient, chlorophyll *a* concentration, regression equations, Black Sea

Accepted: 18.03.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-184-191

References

1. Alimov A. F., *Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem* (Elements of the theory of functioning of water ecosystems), Saint Petersburg: Nauka, 2000, 147 p.
2. Burlakova Z. P., Ereemeeva L. V., Konovalov S. K., Sezonnaya i prostranstvennaya izmenchivost' soderzhaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v deyatel'nom sloe Chernogo morya (Seasonal and spatial variability of concentration of suspended organic matter in active layer of the Black sea), *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 1998, No. 5, pp. 30–62.
3. Vazyulya S. V., Kopelevich O. V., Sheberstov S. V., Artemiev V. A., Otsenka po sputnikovym dannym pokazatelei pogloshcheniya okrashennogo organicheskogo veshchestva i diffuznogo oslableniya solnechnogo izlucheniya v vodakh Belogo i Karskogo morei (Satellite estimation of the coefficients of CDOM absorption and diffuse attenuation in the White and Kara Seas), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 31–41.
4. Emel'yanov E. M., Nekotorye dannye po vzvesi Chernogo i Azovskogo morei (Some data on the suspension of the Black and Azov seas), *Okeanologiya*, 1968, Vol. 2, No. 4, pp. 664–672.
5. Klyuvitkin A. A., Kravchishina M. D., Lisitsyn A. P., Demina L. L., Dara O. M., Novigatskii A. N., Rusanov I. I., Solomatina A. S., Vertikal'nye potoki rasseyanogo osadochnogo veshchestva glubokovodnoi chasti v Chernom more (Vertical fluxes of dispersed sedimentary matter in the deep-water part of the Black Sea), *Sistema Chernogo morya*, Moscow: Nauchnyi mir, 2018, pp. 350–397.
6. Kukushkin A. S., Parhomenko A. V., Otsenka primenimosti sputnikovykh dannykh dlya issledovaniya izmenchivosti soderzhaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v poverkhnostnom sloe Chernogo morya (Satellite data applicability evaluation for studying the suspended organic matter variability in the surface layer of the Black Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 1, pp. 195–205.
7. Kukushkin A. S., Parhomenko A. V., Izmenchivost' soderzhaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v yugo-zapadnoi chasti Krymskogo poberezh'ya po dannym sudovykh i sputnikovykh nablyudenii (Variability of the content of suspended organic matter along the southwestern Crimean coast according to ship and satellite observations), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 137–146.
8. Lisitsyn A. P., *Protssy terrigennoi sedimentatsii v moryakh i okeanakh* (Processes of terrigenous sedimentation in the seas and oceans), Moscow: Nauka, 1991, 270 p.
9. Romankevich E. A., *Geokhimiya organicheskogo veshchestva v okeane* (Geochemistry of organic matter in the ocean), Moscow: Nauka, 1977, 256 p.
10. Rumshinskii L. Z., *Elementy teorii veroyatnosti* (Elements probability theory), Moscow: Nauka, 1970, 256 p.
11. Trimonis E. S., Shimkus K. M., Kolichestvennoe raspredelenie vzvesi v Chernom more (Quantitative distribution of suspended matter in the Black Sea), *Okeanologiya*, 1976, Vol. 16, No. 4, pp. 648–654.
12. Finenko Z. Z., Suslin V. V., Churilova T. Ya., Otsenka produktivnosti fitoplanktona Chernogo morya po sputnikovym dannym (Evaluation of productivity of phytoplankton of the Black Sea from satellite data), *Doklady Rossiiskoi akademii nauk*, 2010, Vol. 432, No. 6, pp. 845–848.
13. Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Ershova S. V., Sheberstov S. V., Evdoshenko M. A., Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas, *Deep-Sea Research II*, 2004, Vol. 51, pp. 1063–1091.
14. Kukushkin A. S., Variability of suspended organic matter in the surface layer of the Black Sea (deep-sea areas), *Oceanology*, 2014, Vol. 54, No. 5, pp. 606–617.
15. Suetin V. S., Korolev S. N., Estimating specific features of the optical property variability in the Black Sea waters using the data of SeaWiFS and MODIS satellite instruments, *Physical Oceanography*, 2018, Vol. 25, No. 4, pp. 330–340.
16. 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, *Intern. J. Remote Sensing*, 2016, Vol. 37, No. 18, pp. 4380–4400.
17. Suslin V., Pryahina S., Churilova T., Slabakova V., The Black Sea iops based on SeaWiFS data, *22nd Intern. Symp. Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Proc. SPIE*, 2016, Vol. 10035, p. 1003531.
18. 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*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997, pp. 211–221.