

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 504.064.37

# Оценка распространения взвешенного вещества по биооптическим показателям с учетом влияния гидрометеорологических факторов в прибрежной зоне Крыма

Т.Я. Шульга<sup>1,2</sup>✉, Л.В. Вержевская<sup>1</sup>, А.В. Медведева<sup>1</sup>, И.А. Свищева<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН  
299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова  
119034, г. Москва, Кропоткинский пер., 6, стр. 1

Поступила в редакцию 29.04.2022 г.;  
после доработки 3.06.2022 г.;  
принята к печати 7.06.2022 г.

Показана возможность практического применения данных дистанционного зондирования для цифрового маркирования и определения площадей областей с высоким содержанием взвешенного вещества в прибрежных морских акваториях. На примере района юго-западного побережья Крыма показана связь сезонных и ситуативных ветров со случаями повышенного содержания взвеси по данным оптических спутниковых датчиков высокого и среднего разрешения в 2017–2019 гг. Отмечается более слабый по сравнению с действием ветра вклад материковых стоков, зависящий от времени года. Предложенный подход может быть полезен для оперативного картографирования динамики взвесей по спутниковым наблюдениям из нескольких источников.

*Ключевые слова:* данные дистанционного зондирования, загрязнение вод, региональный атмосферный реанализ, биооптический показатель, взвешенное вещество, Черное море, Крым; remote sensing data, water pollution, regional atmospheric reanalysis, bio-optical index, suspended matter, Black Sea, Crimea.

## Введение

Взвешенное вещество включает в себя компоненты органического и неорганического происхождения (минеральные фракции, илы, фитопланктон и др.) из природных и антропогенных источников. Материковые источники в силу наличия загрязняющих веществ различной концентрации создают дополнительную нагрузку на прибрежные воды (жизнедеятельность морских сообществ, рекреационный потенциал и др.). Мелководная зона у Крымского побережья подвержена влиянию ветра и является принимающим буфером для речных и сточных вод. В предыдущих исследованиях были даны оценки антропогенной нагрузки на побережье Черного моря [1] и экологического состояния водозаборов подземных вод Крыма и местных рек [2]. Однако традиционные подходы к мониторингу морской среды имеют определенные ограничения: охват по пространству и частота отбора проб.

В настоящее время большую актуальность приобретает подход к оценке загрязнений окружающей среды на основе данных дистанционного зондирования [3]. Регулярный мониторинг на масштабах от сотен до тысяч километров позволяет выполнять системный анализ состояния морской воды [4]. Отмечено, что в океане такие компоненты, как общее взвешенное вещество или окрашенное растворенное органическое вещество, хорошо коррелируют с фотосинтетически активным пигментом хлорофиллом-а [5] — основным оптически активным компонентом, влияющим на цвет воды. Исследование содержания взвешенного вещества в прибрежных водах основано на физических соотношениях между концентрациями оптически активных компонентов (на оптическом мелководье) и интенсивностью отражательной способности воды (remote sensing reflectance  $R_{rs}$ ). Различные алгоритмы дистанционного зондирования используют значения  $R_{rs}$  для получения количественной информации о компонентах воды на основе полуэмпирических, полуаналитических и аналитических алгоритмов [6–10].

В настоящей работе предложен подход к определению содержания и распространения взвешенного вещества на участке Черноморского шельфа

\* Татьяна Яковлевна Шульга (shulgaty@mail.ru); Людмила Владимировна Вержевская (ludmyla.ver@mhi-ras.ru); Алеся Викторовна Медведева (suomi-npp@mail.ru); Ирина Анатольевна Свищева (svishcheva.iryana@gmail.com).

юго-западного побережья Крыма с использованием стандартных спутниковых продуктов. Результаты исследования позволяют оценить масштаб и направления переноса прибрежных вод с высоким содержанием взвешенного вещества по картам биооптических показателей, составленным по оптическим данным высокого и среднего разрешения. Проведен анализ влияния гидрометеорологических условий, сопутствующих случаям повышенного содержания взвеси.

## Материалы и методы

**Область исследования** охватывает район побережья Черного моря между Евпаторийским мысом и пгт Форос, ограниченный координатами 33,10°–33,98° в.д. и 44,19°–45,13° с.ш. (рис. 1, а). Этот район включает рекреационную зону г. Севастополя, подверженную повышенной антропогенной нагрузке от выпусков муниципальных канализационных очистных сооружений (КОС) «Южные», «Северные», «Балаклава». Кроме того, к северу от г. Севастополя в Черное море впадают малые реки Кача, Бельбек, Альма и Черная [11], являющиеся частью материкового стока (рис. 1, б). Для анализа распространения взвешенного вещества исследуемый район разделен на три смежных широтных субрегиона по характеристикам ветра и расположению выходов материковых стоков: К1 (45°–45,7° с.ш.) – г. Саки, пгт Андреевка, р. Кача, р. Бельбек, КОС «Северные»; К2 (44,5°–45° с.ш.) – г. Севастополь, КОС «Южные» и «Балаклава»; К3 (44°–44,5° с.ш.) – пгт Ласпи и Форос.

**Этапы исследования.** На первом этапе проанализированы оптические данные за 2017–2019 гг. из открытых источников: MSI Sentinel-2 (MSI S2) с разрешением 10 м, сайт Copernicus Open Access Hub (COAH) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) и MODIS Aqua/Terra (MODIS) с разреше-

нием 250/500 м, сайт NASA Ocean Color (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) [12, 13]. По результатам анализа отобраны снимки, отвечающие случаям повышенного содержания взвешенного вещества в исследуемом районе.

На втором этапе проанализированы и систематизированы данные атмосферного реанализа National Centers for Environmental Prediction (NCEP) и атмосферной модели SKIRON <http://forecast.uoa.gr> [14].

На третьем этапе стандартные спутниковые продукты преобразованы в массивы биооптических показателей, характеризующих суммарное поглощение света всеми оптически активными компонентами в поверхностном слое моря. Эти данные используются для построения карт, дающих представление о размерах площадей распространения взвешенного вещества и характере его переноса.

На четвертом этапе описаны условия, связывающие отобранные случаи значительного содержания взвешенного вещества с местной гидрометеорологической обстановкой.

**Обработка данных дистанционного зондирования.** Безоблачные изображения высокого разрешения MSI S2 L1C, предварительно отобранные с использованием онлайн-сервиса Sentinel Playground (<https://apps.sentinel-hub.com>), загружались из архива спутниковых данных COAH. Интервал зондирования инструментом MSI S2 на широте 45° с.ш. составляет 5 дней, но за счет частичного перекрытия полос захвата полная и частичная фиксация района исследования осуществляется с промежутком 2–3 дня. В пару к данным MSI S2 подбирались ежедневные данные среднего разрешения MODIS в тот же день или днем позже (в зависимости от состояния облачного покрова).

Дальнейшая обработка данных с целью создания RGB-композиций реализована в приложении SNAP Desktop (<https://step.esa.int/main/>). По данным MSI S2 выполнено комбинирование

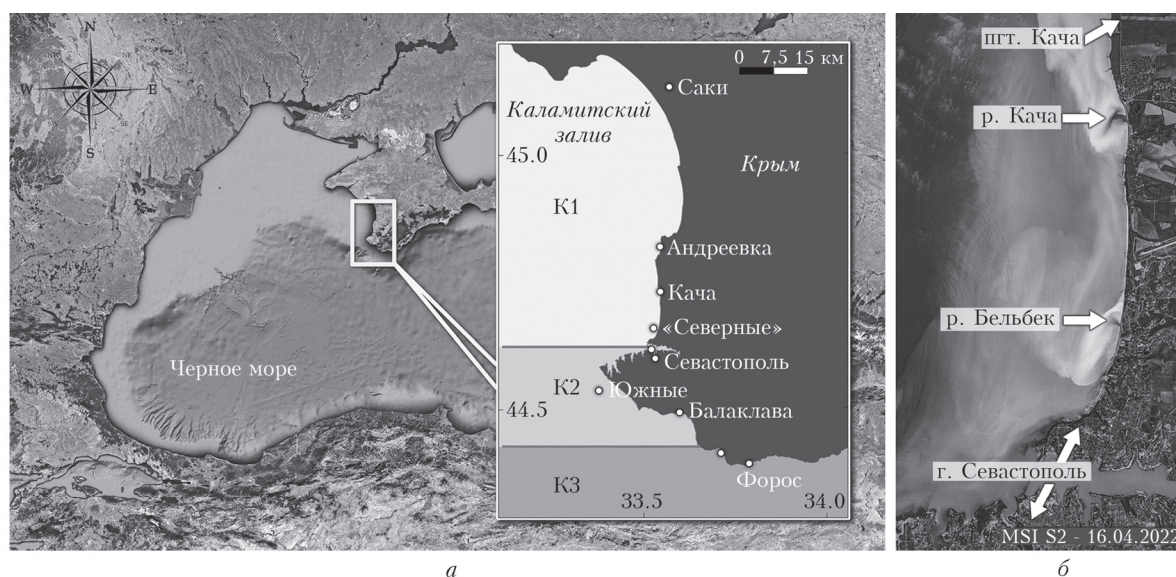


Рис. 1. Карта исследуемой области с субрегионами (а); стоки рек в исследуемом районе – пример от 16.04.2022 г. по данным MSI S2 (б)

каналов видимого диапазона с длинами волн 490 нм (B2), 560 нм (B3), 665 нм; по данным MODIS — с длинами волн 459–479 нм, 545–565 нм и 620–670 нм. Также выполнялось кадрирование сцен в соответствии с границами района исследования.

Поскольку у данных сканера MSI S2 L1C отсутствует атмосферная коррекция, использовался метод устранения отраженной компоненты и частично атмосферной составляющей путем комбинирования каналов видимого B2 и B3 и ближнего инфракрасного диапазона B5 (705 нм), предложенный в [15]. Тем не менее при обработке данных MSI S2 L1C в отдельных случаях отраженное излучение устранялось не полностью и стало причиной погрешностей при получении карт биооптических показателей. Для данных MODIS уровня L2 дополнительная атмосферная коррекция не выполнялась.

Обработанные таким образом оптические данные преобразованы в биооптические показатели, маркирующие оптически активные компоненты в поверхностном слое моря. Безразмерные цифровые значения показателей определяются отношением коэффициентов яркости моря  $R_{rs}(\lambda)$ , нормированных на солнечные постоянные  $F_0(\lambda)$ , соответствующие длине волны  $\lambda$ :  $index23 = [R_{rs}(560) \cdot F_0(560)] / [R_{rs}(490) \cdot F_0(490)]$  (MSI S2) и  $index34 = [R_{rs}(531) \times F_0(531)] / [R_{rs}(488) \cdot F_0(488)]$  (MODIS) [7, 8]. Массивы  $index23$  и  $index34$  с разным пространственным разрешением для каждого пикселя интерполированы на модельную сетку исследуемой области с разрешением ~ 300 м ([www.gebcocenter.org](http://www.gebcocenter.org)) с использованием авторских процедур, реализованных в Visual Fortran ([www.pgroup.com](http://www.pgroup.com)). Для анализа и интерпретации массивов  $index23$  и  $index34$  применялись инструменты Panoply Data Viewer ([www.giss.nasa.gov/tools/panoply](http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply)), Golden Surfer 13 ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)) и QGIS 3.4 ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)).

#### Обработка данных атмосферных реанализов.

Для прибрежных районов Крыма привлекались данные о скорости и направлении ветра на высоте 10 м с дискретностью 6 ч с открытого сайта Морского портала МГИ (<http://dvs.net.ru>), сформированные из реанализа NCEP за 2017–2019 гг. Кроме того, использовались данные региональной атмосферной модели SKIRON: 72-часовой прогноз метеорологических параметров для Азово-Черноморского и Средиземноморского бассейнов с дискретностью 2 ч и разрешением по широте и долготе 0,1°.

Данные об осадках получены от метеостанций в пределах исследуемой области из онлайн-архива RP5 (<https://gp5.ru/>), разработанного компанией ООО «Расписание Погоды», лицензированной в области гидрометеорологии.

## Результаты и обсуждение

**Материковые стоки.** Как отмечено ранее, крымские реки большую часть года маловодны, и максимум стока, как правило, приходится на период с конца зимы по начало весны в зависимости от преобладающих погодных условий (осадки, тем-

пература воздуха и др.). Поэтому летом вклад речного стока в масштабах прибрежной зоны можно считать незначительным. Что касается коммунальных стоков, то они поступают в прибрежную зону круглый год, но в курортный сезон могут возрастать. Так, на изображениях MSI S2 периодически различимо распространение сточных вод вблизи г. Саки, в районе г. Севастополя: Голубая бухта (КОС «Южные») и у входа в Балаклавскую бухту. Например, в 2018 г. сточные воды вблизи г. Саки по оптическим данным обнаруживались пять раз с 6 марта по 5 мая. Стоки в районе Голубой бухты выявлялись также преимущественно весной, а в сумме за 2018 г. выявлено 29 случаев. Сточные воды вблизи Балаклавской бухты фиксировались спутниковыми сенсорами чаще всего в летний сезон (девять случаев), в сумме за год — 21 случай.

#### Короткопериодные особенности влияния ветра.

Для каждого выбранного спутникового снимка MSI S2 (рис. 2, цв. вставка), фиксирующего повышенное содержание взвешенного вещества, оценивались скорость и направление ветра по данным NCEP за период от нескольких дней до недели, предшествующий этому снимку. Особенно отмечались случаи, когда скорость ветра превышала 5–6 м/с, была неустойчивой (чередование периодов напряжения и релаксации ветра) и когда направление ветра менялось, что способствовало формированию динамических структур.

Так, распределения взвешенного вещества, зафиксированные спутниковыми сенсорами 27 апреля 2017 г. и 16 июня 2019 г., обусловлены преимущественно влиянием ветров устойчивого направления (юго-западного и северо-восточного соответственно) со скоростями 6–9 м/с. Случаи переноса взвешенного вещества динамическими структурами, сформированными к 31 июля 2017 г., 23 марта и 10 августа 2019 г., связаны не только с высокой скоростью ветра (в отдельные периоды от 10–12 м/с и выше), но и со сменой его направления.

В частности, ситуация 31 июля 2017 г. характеризуется наличием вдольберегового квазиустойчивого течения вдоль западного берега Крыма в направлении с севера на юг с последующим изменением направления на юго-восток вдоль южной части полуострова. Ей предшествовало изменение направления ветра с юго-западного на северо-западное (с 12:00 28 июня до 18:00 30 июля и частично до 00:00 31 июля 2017 г.). С 06:00 29 июля 2017 г. наблюдался ветер устойчивого северо-западного направления, затихающий в течение 42 ч (табл. 1).

В ситуациях 25 августа 2017 г., 27 апреля, 22 мая и 19 сентября 2018 г. механизмы ветрового влияния были более сложными, связанными с неустойчивыми скоростями и/или направлениями ветра. Например, на спутниковом изображении MSI S2 от 25 августа 2017 г. зафиксирована сложная субмезомасштабная вихревая структура западнее г. Севастополя, образовавшаяся на «ножке» мезомасштабного вихревого диполя. По результатам анализа данных о ветре получено, что с 06:00 22 августа 2017 г. скорость ветра возросла с пе-

Таблица 1

## Скорость и направление ветра 28–31.07.2017 г.

Дата, время	Скорость ветра, м/с	Направление ветра
28.07.2017 г., 12:00	~ 8	ЮЗ
28.07.2017 г., 18:00	~ 10–12	ЮЗ
29.07.2017 г., 00:00	~ 10–12	В
29.07.2017 г., 06:00	~ 12	СЗ
29.07.2017 г., 12:00	~ 12	СЗ
29.07.2017 г., 18:00	~ 6–8	СЗ
30.07.2017 г., 00:00	~ 6–7	СЗ
30.07.2017 г., 06:00	~ 6–7	СЗ
30.07.2017 г., 12:00	~ 6–7	СЗ
30.07.2017 г., 18:00	~ 2–4	СЗ
31.07.2017 г., 00:00	~ 2–4	СЗ, С
31.07.2017 г., 00:00	~ 2–4	СВ

ременой направления с западного на северо-западное, а к 12:00 того же дня скорость северо-западного ветра достигала 8–9 м/с. Высокая скорость (~ 6–8 м/с) и постоянное направление сохранялись до 12:00 следующих суток, и этому периоду соответствовало интенсивное взмучивание прибрежных вод. Далее с 18:00 23 августа 2017 г. наблюдался

слабый ветер (2–4 м/с, местами до 6 м/с) с относительно неустойчивым направлением, что, вероятно, и способствовало формированию «тонкой структуры» вихря.

Таким образом, для всех рассматриваемых случаев ситуативный ветер, определяющий выраженное проявление взвешенного вещества на снимках, связан со штормами, сочетанием периодов ветрового напряжения и релаксации и с резкой сменой направлений.

**Сезонные характеристики ветра в районах материковых стоков.** С целью установления повторяемости направлений сильного ветра, приводящего к значительному распространению взвешенного вещества, построены сезонные розы ветров (рис. 3). Для анализа используются данные SKIRON за 2017–2019 гг., пространственно осредненные по субрегионам в пунктах выхода материковых стоков. Повторяемость сезонных направлений ветра установлена по градациям скорости согласно международной шкале Бофорта. Микроклиматические особенности субрегионов связаны с характером рельефа Крымского п-ова. Крымские горы, практически полностью составляющие сушу субрегионов К2 и К3

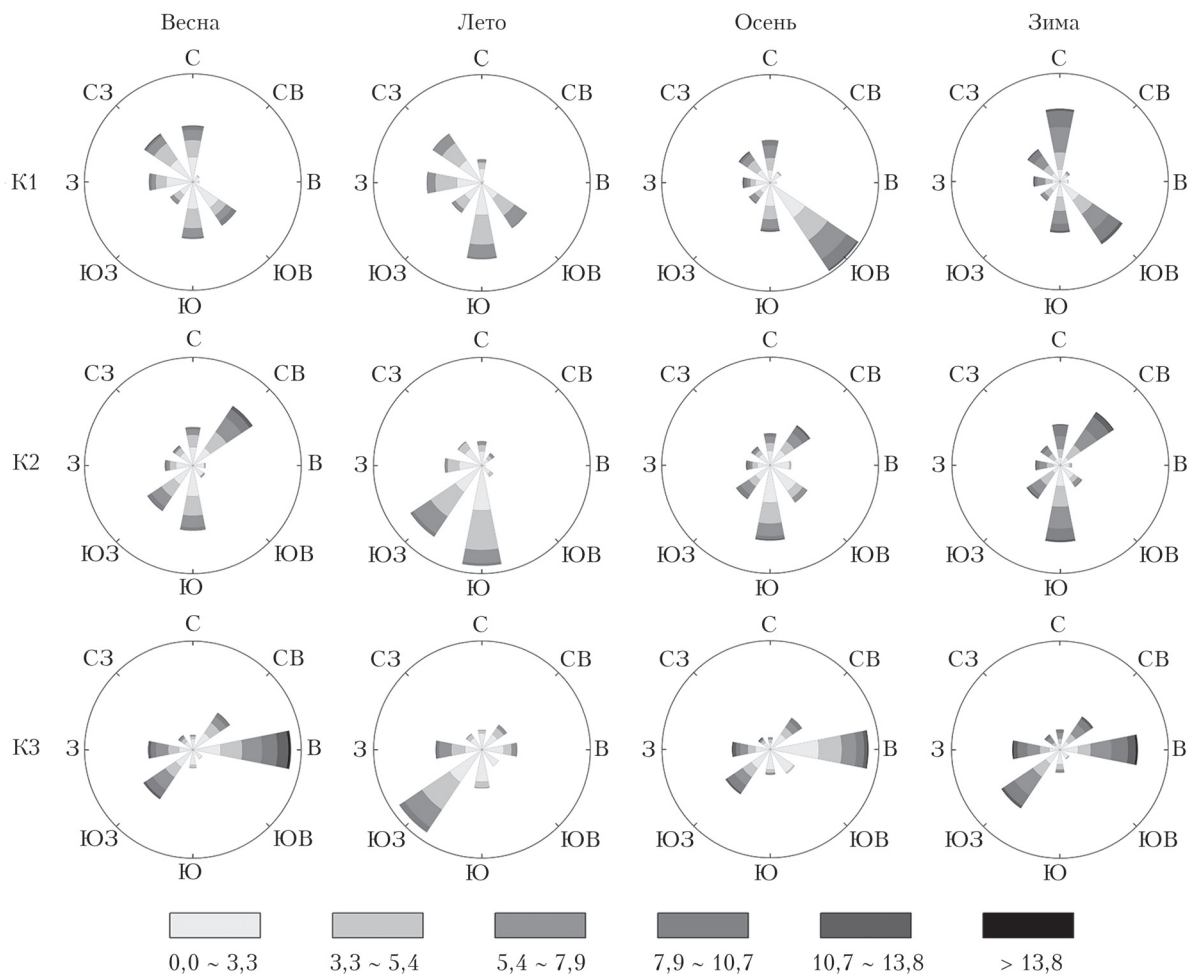


Рис. 3. Сезонные розы ветров по данным SKIRON за 2017–2019 гг.

и гораздо в меньшей степени – К1, оказывают существенное влияние на ветровую циркуляцию.

Как видно из рис. 3, для субрегиона К1, соответствующего степному Крыму, летом и осенью отмечается преобладание южных и юго-восточных ветров, приводящих к взмучиванию прибрежных вод. Зимой возможной причиной взмучивания является юго-восточный ветер и сравнимый с ним по повторяемости северный. В других районах влияние оказывает горный рельеф, создающий ветровую тень. Поэтому на побережье Гераклейского п-ова (К2) восточный ветер практически не регистрируется, а в районе Южного берега Крыма (К3) слабо проявляются северные и северо-западные ветра. Следовательно, эти направления ветра не приводят к взмучиванию прибрежных вод. Летом в субрегионе К2 взмучивание возникает благодаря преобладающим ветрам юго-западного и южного направлений, а в остальные сезоны к ним обычно добавляется северо-восточный ветер. В К3 взмучивание обусловлено заметным преобладанием юго-западного ветра летом и восточного – в другие сезоны.

#### Анализ осадков по данным метеостанций.

По данным архива RP5 количество осадков, представляющих рассматриваемым спутниковым снимкам (7 сут), разделяется: на обильные осадки (10–30 мм), способствующие значительному выносу реками взмученного материала, отмеченные накануне 27 апреля и 25 августа 2017 г. (как и штормовой ветер); небольшие осадки (< 10 мм), вызывающие вынос незначительного количества взвеси, отмеченные накануне 31 июля 2017 и 19 сентября 2018 г.; отсутствие осадков (< 1 мм) – во всех остальных случаях, свидетельствующее об отсутствии вклада стока во взмучивание на шельфе. Таким образом, несмотря на малые объемы материковых стоков в масштабах прибрежной зоны юго-западного Крыма, стоит учитывать динамику переноса шельфовых вод с целью понимания условий распространения загрязняющих веществ.

**Карты биооптических показателей.** По снимкам MSI S2 и соответствующим изображениям MODIS, на которых отчетливо распознаются ситуации распространения взвешенного вещества, составлены карты биооптических показателей, приведенные на рис. 4 (цв. вкладка). Хорошо выделяются случаи с высокими значениями *index23* и *index34* без резких фронтальных изменений: 27 апреля и 31 июля 2017 г., 19 сентября 2018 г., 26 марта 2019 г. В этих случаях вероятная причина высокого содержания взвешенного вещества – это воздействие сильного ветра или шторма, вызывающего взмучивание на малых глубинах Каламитского залива (К1), в сочетании с наличием песчаного дна. Отметим, что в пределах мелководного залива взвесь может распространяться как вдоль побережья, так и в открытое море. Случаи переноса взвеси вдоль Южного берега Крыма встречаются реже, например 22 мая 2018 и 10 августа 2019 г. Как правило, узкая

полоса взвеси тянется над изобатами 5–20 м вдоль южной стороны от г. Севастополя до пгт Форос.

По результатам совместного анализа данных атмосферных реанализов, карт биооптических индексов и спутниковых снимков (см. рис. 3, 4) установлена связь сезонных и ситуативных направлений ветра со случаями повышенного содержания взвеси. Все наблюдаемые случаи переноса взвешенного вещества происходили либо во время сильных ветров, либо вскоре после их воздействия при средней скорости ветра 7 м/с. Большое количество взвешенного вещества отмечается в Каламитском заливе (К1). Здесь взмучивание возможно как при типичных сезонных, так и при нетипичных ситуативных ветрах. В субрегионе К2 случаи повышенного содержания взвеси наблюдаются преимущественно весной и летом под действием ситуативных ветров и сезонного юго-западного ветра. Весной и осенью вдоль южного побережья Крыма (К3) в дни дистанционного зондирования или накануне преобладал нетипичный южный (NCEP) и характерный сезонный восточный ветер.

#### Площади взвешенного вещества в верхнем слое моря.

Площади областей, ограниченные линией, соответствующей 50%-му значению верхней границы биооптических показателей, рассчитаны в приложениях Surfer 13 и QGIS 3.4. Карты этих областей, соответствующие случаям повышенного содержания взвесей в 2017–2019 гг., приведены на рис. 5, а сами значения – в табл. 2. Площади по данным MSI S2 не рассчитывались (н/д) при наличии частично сохраненного отраженного излучения на снимке.

Таблица 2

Площади акваторий, маркированных 50% границей значений показателей *index23* и *index34*

Дата	Площадь, км <sup>2</sup>		δ, %
	MSI S2	MODIS	
27.04.2017 г.	1411	1409	0,1
31.07.2017 г.	964	994	3,1
25.08.2017 г.	765	989	22,6
27.04.2018 г.	1292	1628	20,6
22.05.2018 г.	н/д	806	–
19.09.2018 г.	н/д	1350	–
26.03.2019 г.	1531	1989	23,0
19.06.2019 г.	2261	1932	14,6
13.08.2019 г.	1033	1337	22,7

Все рассматриваемые случаи можно условно разделить на три основных типа.

*Непрерывное покрытие* и охват обширной акватории как вдоль берега, так и значительно мористее – 27 апреля и 25 августа 2017 г. Накануне этих случаев зафиксировано обильное выпадение осадков, ситуативный ветер отличался резкими изменениями скорости и направления.

*Распространение вблизи береговой линии* (преимущественно у Южного берега Крыма), свидетельствующее о вдольбереговых течениях, связан-

ных с действующими ветрами. Такие случаи отмечены 31 июля 2017 г. и 19 сентября 2018 г. По данным NCEP, в эти дни преобладали соответственно сезонные западный и южный ветры, прижимавшие взмученные воды к береговой линии.

*Фрагментированное покрытие* с общей площадью ~100 км<sup>2</sup>. За несколько дней до 27 апреля 2018 г. скорость ветра резко изменялась, образовывались вихри, захватывающие и увлекающие взмученные воды. В отдельных случаях (18 июня 2019 г.) взмучивание вызвано сезонным юго-западным ветром (рис. 5).

Анализ площадей, маркированных *index23* и *index34* (табл. 2), показывает, что наибольший охват акватории взвешенным веществом происходит в марте, апреле и июне (1409–1989 км<sup>2</sup>), несколько меньше – в августе и сентябре (1337–1350 км<sup>2</sup>). Сравнение размеров площади загрязненной территории, рассчитанных по данным спутниковых датчиков высокого и среднего разрешения MSI S2 и MODIS, показывает адекватную и в целом схожую динамику. Некоторые расхождения могут быть связаны с несинхронностью и с методологическими различиями в обработке спутниковых данных [17]. Разница между площадями, занимаемыми *index23* и *index34*, в один и тот же день примерно на 3–23% подтверждает возможность дополнения данных высокого разрешения данными среднего разрешения (рис. 5).

Хотя в рамках настоящей работы не представляется возможным детально оценить вклад речных и коммунальных стоков, авторы на основании ука-

занной выше информации и [17] предполагают, что осадки способствуют увеличению количества взвешенного вещества.

## Заключение

В результате анализа оптических данных высокого и среднего разрешения выбраны случаи интенсивного проявления взвешенного вещества в прибрежной зоне юго-западного Крыма в 2017–2019 гг. Для них построены карты биооптических показателей, позволяющие выполнить оперативное картографирование динамики взвесей и вычислить площади, маркированные 50% границей значений *index23* и *index34*. Источником взвешенного вещества в прибрежной зоне являются процессы взмучивания под влиянием ветров высоких скоростей (в среднем от 7 м/с). Перенос взвешенного вещества обусловлен ситуативными ветрами, характеризующимися сочетанием периодов ветрового напряжения и релаксации, резкой сменой направлений ветра, а также действием сезонных ветров юго-западного и восточного направлений. Отчасти площадь взвешенного вещества в прибрежной зоне увеличивается за счет пресноводных стоков, а также во время обильных осадков, но, в основном, в период с февраля по март. Оценка площадей загрязнения, рассчитанных по данным MSI S2 и MODIS, показала схожие результаты, что подтверждает возможность использования объединенных данных двух спутниковых датчиков для получения данных с лучшим покрытием исследуемой области.

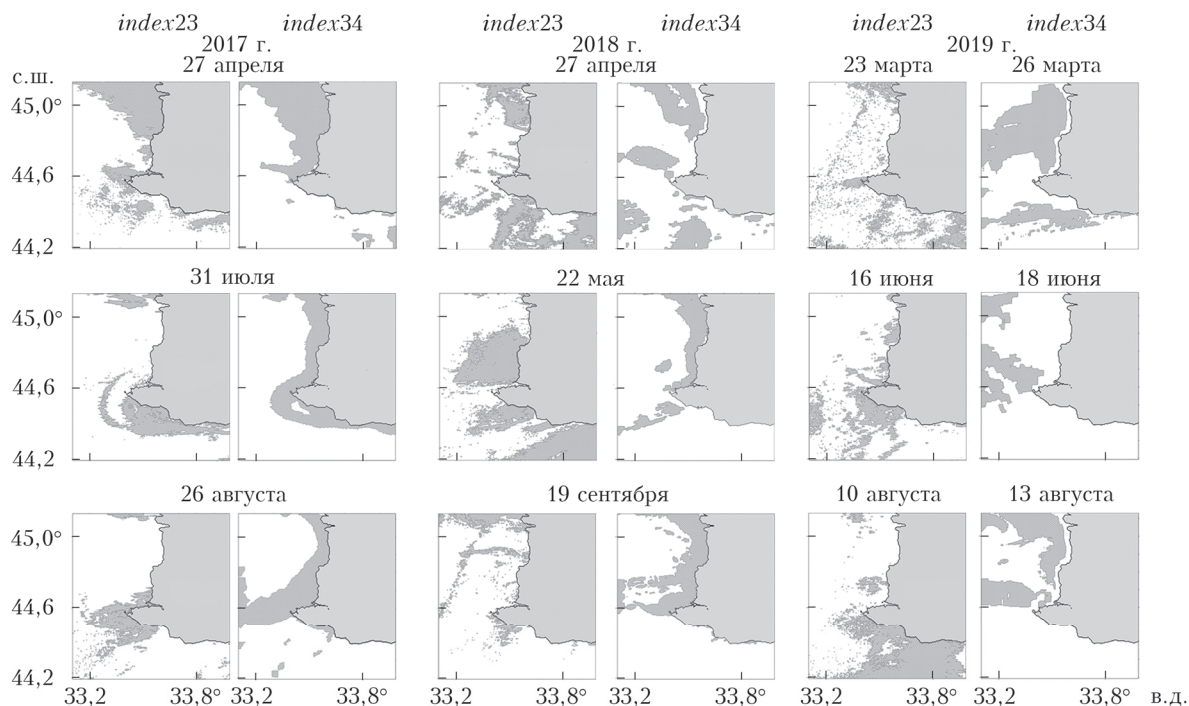


Рис. 5. Карты площадей, ограниченных 50% границей значений индексов *index23* и *index34* для случаев, показанных на рис. 2

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственных заданий № 0555-2021-0003, № 0555-2021-0005, № 0555-2021-0006 и при частичной финансовой поддержке РФФ (грант № 21-77-10052).

## Список литературы

1. *Совга Е., Пасынков А., Андреева О.* Экологическое состояние прибрежных и морских территорий Крыма // Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2011. Т. 22. С. 169–180.
2. *Андреева О.А.* Особенности ландшафтно-геохимических условий и экологического состояния прибрежно-морских территорий Украины // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2010. Т. 1. С. 75–84.
3. *Manzo C., Federica B., Luca Z., Ernesto B.V., Claudia G., Mariano B., Cristiana B.* Spatio-temporal analysis of prodelta dynamics by means of new satellite generation: The case of Po river by Landsat-8 data // Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform. 2018. V. 66. P. 210–225. DOI: 10.1016/j.jag.2017.11.012.
4. *Hestir E.L., Brando V.E., Bresciani M., Giardino C., Matta E., Villa P., Dekker A.G.* Measuring freshwater aquatic ecosystems: The need for a hyperspectral global mapping satellite mission // Remote Sens. Environ. 2015. V. 167. P. 181–195. DOI: 10.1016/j.rse.2015.05.023.
5. *Morel A., Prieur L.* Analysis of variations in ocean color // Limnol. Oceanograph. 1977. V. 22, N 4. P. 709–722. DOI: 10.4319/lo.1977.22.4.0709.
6. *Kopelevich O., Burenkov V., Sheberstov S., Vazyulya S., Zavalov S.* Bio-optical characteristics of the Russian seas from satellite ocean color data of 1998–2010 // Proc. of the VI International Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters”. St.-Petersburg, 2011. P. 181–182.
7. *Suslin V., Churilova T.* 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 // Int. J. Remote Sens. 2016. V. 37, N 18. P. 4380–4400. DOI: 10.1080/01431161.2016.1211350.
8. *Шульга Т.Я., Суслин В.В.* Исследование эволюции пассивной примеси в поверхностном слое Азовского моря на основе усвоения данных сканера MODIS-Aqua в гидродинамическую модель // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11, № 3. С. 73–80. DOI: 10.7868/S2073667318030097.
9. *Ростовцева В.В., Гончаренко И.В., Коновалов Б.В.* Биооптические свойства поверхностных вод оз. Иссык-Куль по данным оперативного зондирования с борта судна пассивным оптическим комплексом ЭММА // Оптика атмосф. и океана. 2020. Т. 33, № 2. С. 113–118. DOI: 10.15372/AOO20200205; *Rostovtseva V.V., Goncharenko I.V., Kononov B.V.* Biooptical properties of near-surface waters in Lake Issyk-Kul from operational ship-based sensing by passive optical complex EMMA // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 4. P. 340–346.
10. *Шульга Т.Я., Суслин В.В.* Численное исследование процессов эволюции загрязнений в Азовском море с использованием данных спутниковых наблюдений // Морской гидрофизический журнал. 2017. Т. 6. С. 40–52. DOI: 10.22449/0233-7584-2017-6-40-52.
11. *Миньковская Р.Я.* Оценка состояния морских лиманов рек Севастопольского региона // Тр. Государственного океанографического института. 2018. Т. 219. С. 152–173.
12. *NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group.* Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Ocean Color Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. DOI: 10.5067/AQUA/MODIS/L2/OC/2018.
13. *NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group.* Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra Ocean Color Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. DOI: 10.5067/TERRA/MODIS/L2/OC/2018.
14. *Kallos G., Nickovic S., Jovic D., Kakaliagou O., Papadopoulos A., Misirlis N., Boukas L., Mimikou N., Sakellaridis G., Papageorgiou J., Anadranistakis E., Manousakis M.* The regional weather forecasting system SKIRON and its capability for forecasting dust uptake and transport // Proc. of the WMO Conference Dust Storms. Damascus, 1997. P. 1–6.
15. *Chavez P.S.* An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data // Remote Sens. Environ. 1988. V. 24, N 3. P. 459–479. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90019-3.
16. *Bertani L., Steger C.E., Obenour D.R., Fahnenstiel G.L., Bridgeman T.B., Johengen T.H., Sayers M.J., Shuchman R.A., Scavia D.* Tracking cyanobacteria blooms: Do different monitoring approaches tell the same story? // Sci. Total Environ. 2017. V. 575. P. 294–308. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.023.
17. *Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2019 год. г. Севастополь. 2020. 306 с.*

*T.Ya. Shul'ga, L.V. Verzhvetskaia, A.V. Medvedeva, I.A. Svishcheva.* **Assessment of the distribution of suspended matter according to bio-optical indices taking into account hydrometeorological factors in the coastal zone of the Crimea.**

The study shows a possibility of practical application of remote sensing data for digital marking and determination of the areas with a high content of suspended matter in sea coastal waters. Using the example of the region at the southwestern coast of Crimea, the relationship between seasonal and domestic winds and cases of increased suspended matter content is shown based on data of high- and medium-resolution optical satellite sensors in 2017–2019. The contribution of continental runoff depends on season; it is weaker compared to the action of the wind. The approach suggested can be useful for prompt mapping of the dynamics of suspended matter based on satellite observations from several sources.

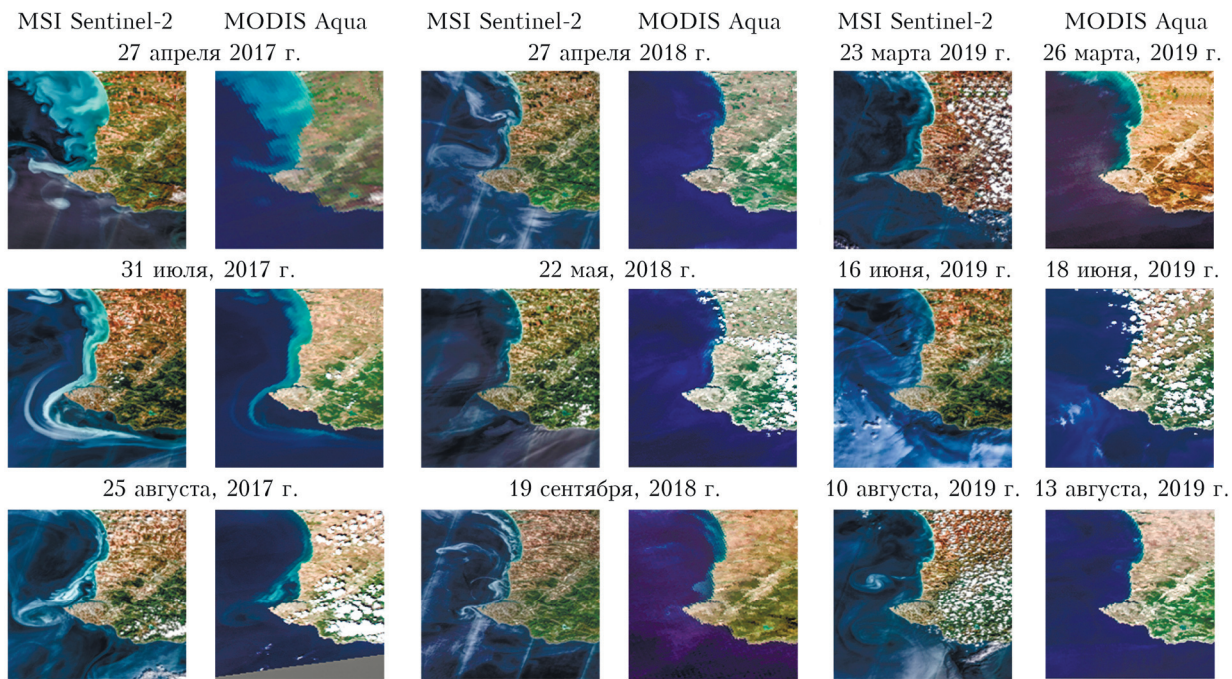


Рис. 2. Случаи повышенного содержания взвеси по данным высокого (MSI S2) и среднего (MODIS) разрешения за 2017–2019 гг.

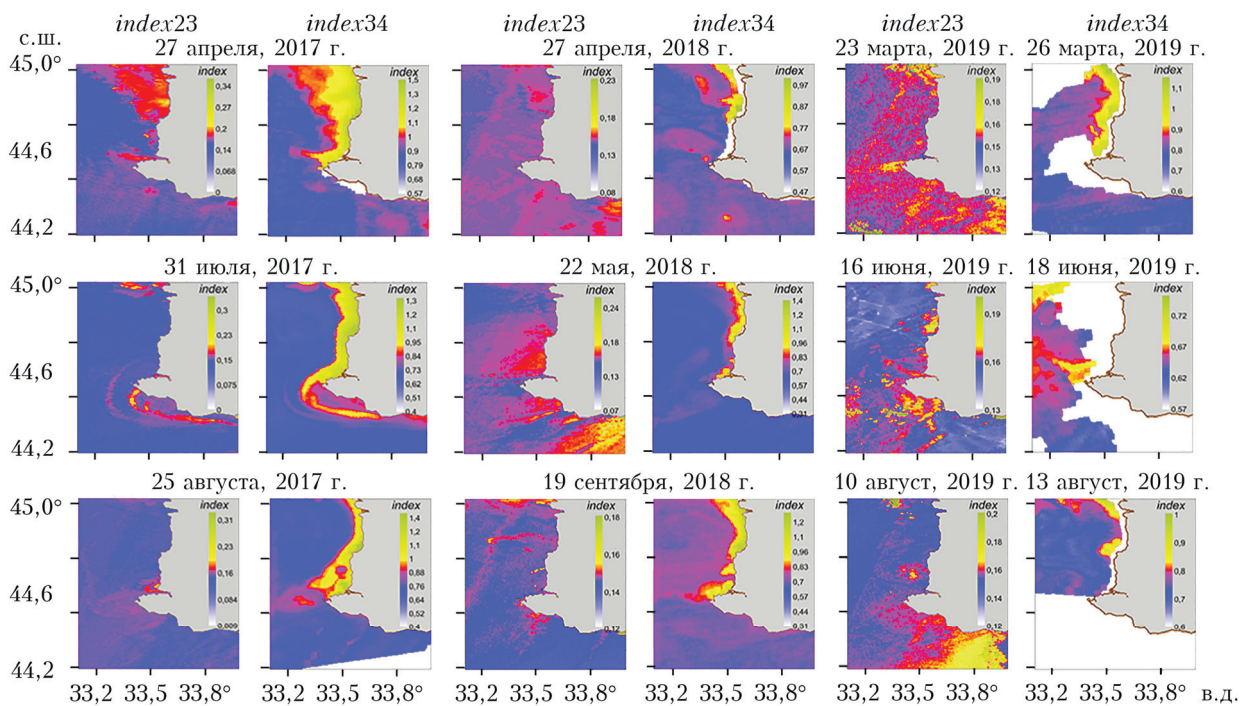


Рис. 4. Карты биооптических индексов для случаев, показанных на рис. 2