

УДК 535.34

© Н. А. Липинская*, П. А. Салюк

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, Балтийская ул., д. 43, г. Владивосток, Приморский край, Россия

*E-mail: ef.na.hc@gmail.com

АНАЛИЗ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЯХ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО С ПОМОЩЬЮ ОДНОВРЕМЕННЫХ IN-SITU И ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Статья поступила в редакцию: 25.02.2021, после доработки 26.04.2021

Проводится анализ субмезомасштабных вихрей, обнаруженных в южной части залива Петра Великого в сентябре 2009 г., как процесса, оказывающего влияние на стратификацию оптически активных компонентов в верхнем слое моря, и значения коэффициентов яркости моря. Для анализа перемещения вихрей использовались спутниковые данные 2 уровня среднего пространственного разрешения спектрорадиометров MODIS-Terra/Aqua, Merris-ENVISAT-1 (размер пикселя 250–1000 м) в полях температуры поверхности моря, концентрации хлорофилла-*a* и синтезированные RGB изображения, а также судовые данные, полученные в серии прибрежных экспедиций ТОИ ДВО РАН за сентябрь 2009 г. Дополнительно использовались дистанционные измерения спектров коэффициентов яркости моря с борта судна с помощью ручного гиперспектрального радиометра ASD FieldSpec Hand Held.

В результате было определено, что вихри характеризуются пониженной соленостью и повышенным содержанием окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), что может быть обусловлено влиянием стока р. Туманной. В дистанционных данных наибольший контраст вихря относительно прилегающих вод достигается на длине волны – 412 нм. Также, контраст проявления вихря заметен в дистанционных определениях концентрации хлорофилла-*a*. Глубина основной части вихря составила 5–7 м и полностью находится в зоне, наблюдаемой со спутника в видимом спектральном диапазоне.

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, хлорофилл-*a*, цвет морской поверхности, спектры яркости моря, окрашенное растворенное органическое вещество.

© N. A. Lipinskaia*, P. A. Salyuk

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of RAS, 690041, Baltiyskaya Str., 43, Vladivostok, Russia.

*E-mail: ef.na.hc@gmail.com

ANALYSIS OF HYDRO-BIOLOGICAL AND HYDRO-OPTICAL CHARACTERISTICS IN SUBMESOSCALE EDDIES IN THE GULF OF PETER THE GREAT WITH THE USE OF SIMULTANEOUS IN-SITU AND REMOTE MEASUREMENTS

Received 25.02.2021, in final form 26.04.2021

The article analyzes the submesoscale eddies detected in the southern part of Peter the Great Bay in September 2009 as a process influencing the stratification of optically active components in the upper sea layer and the values of the sea brightness coefficients. To analyze the motion of vortices, satellite data of the 2nd level of the average spatial resolution of the MODIS-Terra/Aqua, Merris-ENVISAT-1 spectroradiometers in the fields of sea surface temperature, chlorophyll-*a* concentration and synthesized RGB images, ship STD data from the SBE19 plus profiler and remote measurements of the spectra of sea brightness coefficients from the handheld hyperspectral radiometer ASD FieldSpec, obtained in a series of coastal expeditions of the POI FEB RAS in September 2009.

As a result, it was found that the eddies are characterized by lower salinity and increased content of colored dissolved organic matter, which may be associated with the influence of the Tumannaya River runoff. The greatest contrast of the vortex relative

Ссылка для цитирования: Липинская Н. А., Салюк П. А. Анализ гидробиологических и гидрооптических характеристик в субмезомасштабных вихрях в заливе Петра Великого с помощью одновременных *in-situ* и дистанционных измерений // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2021. Т. 14, № 3. С. 111–121. doi: 10.7868/S2073667321030102

For citation: Lipinskaia N. A., Salyuk P. A. Analysis of Hydro-Biological and Hydro-Optical Characteristics in Submesoscale Eddies in the Gulf of Peter the Great with the Use of Simultaneous in-situ and Remote Measurements. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2021, 14, 3, 111–121. doi: 10.7868/S2073667321030102

to adjacent waters is achieved at a wavelength of 412 nm according to remote sensing data. In addition, the contrast is noticeable in remote measurements of chlorophyll-*a* concentration. The depth of the vortex was 5–7 meters and is completely within the observation area from the satellite in the visible spectral range.

Key words: submesoscale eddies, chlorophyll-*a*, sea surface color, remote sensing reflectance spectra, colored dissolved organic matter.

1. Введение

В настоящее время спутниковые данные широко используются для исследования различных характеристик гидрофизических процессов, оказывающих влияние на верхний слой моря [1–4]. Традиционное изучение основывается на использовании спутниковых данных активного микроволнового зондирования [5–7], где проявления процессов видны за счет изменения шероховатости морской поверхности, а также на применении инфракрасных (ИК) изображений, на которых гидрофизические явления выделяются вследствие контрастов температуры поверхности моря, которая является базовым гидрологическим параметром [8–11]. В последние десятилетия активное применение получили спутниковые данные видимого диапазона [12, 13], в которых разные типы вод разделяются за счет вариаций в содержании фитопланктона, ОРОВ и взвешенных веществ [14, 15], либо проявления связаны с изменчивостью стратификации перечисленных компонентов морской воды в верхнем слое моря [16, 17]. Формирование спутникового изображения видимого диапазона в морской толще, а не только на морской поверхности, является важным фактором, расширяющим возможности мультисенсорного спутникового зондирования. Кроме этого, для изучения мезомасштабных и синоптических процессов в качестве дополнения или эталона активно применяются данные *in-situ* измерений [18–21]. В случае субмезомасштабных процессов использование натуральных измерений является более сложной задачей, и наличие соответствующих *in-situ* данных в видимом со спутника слое моря представляет особую ценность.

Отдельного внимания заслуживает изучение субмезомасштабных вихрей, которые имеют горизонтальные размеры от 100 м до 10 км, вертикальные – порядка 10 м и время жизни от нескольких часов до нескольких суток [22]. Процессы таких пространственных и временных масштабов имеют различную природу [23] и представляют собой наименее исследованный участок спектра океанических вихрей [24]. Кроме этого, субмезомасштабные вихри являются важным фактором функционирования прибрежных экосистем.

Вихри малых масштабов достаточно сложны для исследования с помощью контактных измерений или с помощью спутниковых изображений низкого пространственного разрешения (размер пикселя ≥ 1000 м) в силу их малых размеров, нестационарности, спонтанности появления и малого времени жизни. Кроме этого, обладая размерами от сотен метров до десятка километров, они не всегда проявляются на спутниковых изображениях видимого и ИК диапазона вследствие отсутствия тепловых или оптических контрастов, а также недостаточного пространственного разрешения [25].

При анализе характеристик вихрей важным является сочетание спутниковой информации из разных спектральных диапазонов. Так, могут быть ситуации, когда на ИК изображениях не удастся идентифицировать вихри в связи с малыми контрастами в полях температуры поверхности моря за счет близкого прогрева вод разного типа [26, 27]. При этом в видимом диапазоне контраст может быть существенным за счет разного содержания фитопланктона или ОРОВ внутри и вне вихря. Спутниковые оценки полей концентрации хлорофилла-*a* являются хорошим индикатором проявления вихрей. В настоящее время для определения этой характеристики разработан наиболее подробный инструментарий биооптических алгоритмов и моделей [28–30], который применим в том числе для данных высокого пространственного разрешения, что позволяет проводить исследования в широком диапазоне пространственных и временных масштабов [31, 32]. Несмотря на то, что значения спутниковых концентраций хлорофилла-*a* могут содержать значительные систематические погрешности [33], структуры гидрофизических процессов все равно будут проявляться в полях концентрации хлорофилла-*a*.

Расчеты и анализ изменчивости и глубин залегания оптически активных компонентов (ОАК) морской воды (фитопланктон, ОРОВ) и оценка влияния вихря на стратификацию верхнего слоя моря может обеспечить дополнительную избирательность для идентификации вихрей на спутниковых изображениях цвета моря, что в свою очередь может использоваться для решения таких задач, как оценка биопродуктивности морских вод и изучение функционирования фитопланктонных сообществ в зонах влияния вихря.

Цель данной работы – провести анализ субмезомасштабных вихрей, обнаруженных в южной части залива Петра Великого в сентябре 2009 г. в районе дельты реки Туманной, как процесса, оказывающего влияние на стратификацию ОАК в верхнем слое моря и изменчивость цвета моря на основе контактных и дистанционных измерений.

2. Район исследований

Районом исследования для анализа перемещения субмезомасштабных вихрей является южная часть залива Петра Великого, в северо-восточном направлении от дельты реки Туманной.

Залив Петра Великого — самый большой залив Японского моря у берегов Приморского края России, расположенный между мысом Поворотный на востоке и устьем реки Туманной на западе. Длина залива с севера на юг составляет около 80 км, ширина с запада на восток — около 200 км. Площадь — около 9000 км², длина береговой линии — 1230 км, солёность — 32—34 ‰ [34]

Циркуляция вод Японского моря определяется поступлением тихоокеанских вод через проливы и атмосферной циркуляцией над самим морем. Теплые течения восточной части моря и холодные течения, проходящие вдоль западных его берегов, образуют два циклонических круговорота в северной и южной частях моря. Поверхностные течения образуют круговорот, который складывается из тёплого Цусимского течения на востоке и холодного Приморского на западе [35].

Синоптические вихри в водах Японского моря являются существенным компонентом его динамики, их возникновение обусловлено неустойчивостью струйных течений [36]. В условиях близкого расположения взаимодействие вихрей приводит к развитию субмезомасштабных струйных вторжений, переносящих воды Цусимского течения через вихревые структуры. Восточно-Корейское течение фактически представляет собой цепочку вихрей, по которой осуществляется адвекция вод в северном направлении [37].

Туманная — река, на большей части течения пограничная между КНР и КНДР, в низовьях — между КНДР и Россией. При впадении в Японское море образует обширную заболоченную дельту с сетью солоноватых и пресных водоёмов, прилегающих к р. Туманная, мелководные морские заливы с отдельными прибрежными островами. Площадь водосбора р. Туманной составляет около 41 000 км² с объемом годового стока порядка 5,7 км³ [38].

При впадении р. Туманной в Японское море, образуется обширная заболоченная дельта с сетью солоноватых и пресных водоёмов, прилегающих к реке. Полоса мутной воды простирается в море на 10—11 км от устья реки. Направление перемещения стоковых вод зависит от ветров. Под действием летних муссонов полоса мутных вод тянется к заливу Петра Великого на восток — северо-восток [39]. В водном стоке р. Туманной отмечаются нефтяные углеводороды, хлорорганические пестициды, тяжелые металлы, высокие концентрации взвешенных частиц [40], которые вместе с вихрями могут достигать побережья полуострова Гамова. Это обуславливает важность работы с экологической точки зрения и трансграничного переноса загрязняющих веществ.

3. Используемые данные

Для анализа перемещения субмезомасштабных вихрей использовались спутниковые данные 2 уровня среднего пространственного разрешения спектрорадиометров MODIS-Terra/Aqua, Merris-ENVISAT-1 (размер пикселя 250—1000 м) в полях температуры поверхности моря, концентрации хлорофилла-*a* и синтетизированные RGB изображения.

Натурные измерения проведены на судне прибрежного хода «Малахит» 04.09.2009 г., маршрут выбирался на основе серии спутниковых изображений с 30.08 по 03.09.2009 г., на которых была видна цепочка перемещающихся субмезомасштабных вихрей [35].

Для анализа пространственной изменчивости гидрологических, гидробиологических и гидрооптических характеристик с разрешением менее 100 м и для определения фронтальных зон в районе действия субмезомасштабного вихря использовались проточный термосолинограф SBE-45 и проточный лазерный флуориметр, позволяющий измерять спектры флуоресценции морской воды в диапазоне 560—730 нм при возбуждении излучением 532 нм, из которых рассчитывались интенсивности флуоресценции хлорофилла-*a* и ОРОВ [41].

Для получения соответствующего вертикального распределения гидрологических, гидробиологических и гидрооптических характеристик использован погружной гидрологический CTD-зонд SeaBird SBE19plus с калиброванными флуоресцентными датчиками концентрации хлорофилла-*a* и ОРОВ — WetLabs (длина волны возбуждающего излучения 460 и 370 нм, длина волны регистрируемого излучения 690 и 460 нм, соответственно), и со сферическим датчиком фотосинтетически активной радиации (ФАР) Licor Li-193. Разрешение по глубине для полученных профилей составило не более 0.25 м. Расстояние между станциями составило около 2 км. Место выполнения станции определялось как на основе заранее запланированной регулярной сетки, так и на основе проточных данных, анализируемых в реальном времени.

Калибровка флуоресцентных измерений концентрации хлорофилла-*a* выполненных с использованием датчика WetLabs, была произведена на основе сравнения со спектрофотометрическими определениями

по ГОСТ 17.1.4.02-90 [42]. Калибровка интенсивности флуоресценции ОРОВ датчика WetLabs выполнена предприятием-изготовителем в мкг/л хинина сульфата дигидрата (QSU).

Дополнительно на станциях проводились дистанционные измерения спектров коэффициентов яркости моря $Rrs(\lambda)$ с борта судна с помощью ручного гиперспектрального радиометра ASD FieldSpec Hand Held по методике из протоколов NASA [43]. Из спектров рассчитывались индексы цвета для трех длин волн 412, 490 и 510 нм:

$$R_{412} = Rrs(412) / Rrs(555); \quad R_{490} = Rrs(490) / Rrs(555); \quad R_{510} = Rrs(510) / Rrs(555).$$

Преимущество судовых радиометрических измерений цвета моря состоит в том, что можно пренебречь влиянием атмосферы. Кроме этого, проведенные измерения позволили получить гиперспектральные данные. Нормировка на $Rrs(555)$ позволяет минимизировать возможные погрешности измерений спектров $Rrs(\lambda)$.

4. Результаты и обсуждение

На рис. 1 (см. вклейку) показано RGB изображение радиометра MODIS-Aqua (R – центральная длина волны 645 нм (пространственное разрешение 250 м), G – 555 нм (500 м), B – 469 нм (500 м)), на котором виден циклонический субмезомасштабный вихрь [23] в районе $42^{\circ}22'$ градусов северной широты и $130^{\circ}53'$ восточной долготы и представлено местоположение судовых измерений на станциях. Вихрь перемещался в составе цепочки аналогичных вихрей [35], которые распространялись в северо-восточном направлении ($30-40^{\circ}$) от дельты р. Туманной в период с 30 августа по 6 сентября 2009. Вихри увеличивались в диаметре с 3 до 8–10 км и смещались вдоль юго-западного побережья залива Петра Великого к востоку от о. Фуругельма по направлению к полуострову Шульца со скоростью 0.1–0.2 м/с. Для рис. 1 выполнена коррекция уровней цветов для наилучшего визуального контраста проявления вихря. Необходимо иметь в виду, что спутниковое изображение получено после проведения судового разреза, за которое местоположение вихря сместилось примерно на 20–25 м.

Вертикальный разрез температуры, солёности, содержания хлорофилла-*a* и ОРОВ в морской воде показан на рис. 2 (см. вклейку). Станции можно разбить на две группы. Первая группа – станции 2, 3, 4, 5, 6, 8, где 2, 3, 4, 5, 6 были выполнены в струе (в зоне конвергенции) на периферии вихря и 8 около ядра вихря. Вторая группа – станции 1, 7, 9, где 1 и 9 измерены в зоне дивергенции вихря, а 7 – между периферией и ядром вихря.

Первая группа станций характеризуется пониженной солёностью, повышенным содержанием ОРОВ и хлорофилла-*a*, и, по всей видимости, связана с добавлением вод р. Туманной. Вторая группа станций имеет повышенную солёность, пониженные концентрации ОРОВ и хлорофилла-*a*, и соответствует чистым морским водам первого оптического типа. По данным температуры значимых вариаций и соответствующей вихревой структуры не наблюдалось, что может быть связано с близким прогревом рассматриваемых вод. По значениям солёности и ОРОВ глубина рассматриваемого вихря составляет около 5–7 м. В рассматриваемом случае эти характеристики являются наиболее контрастными с точки зрения определения влияния речной воды р. Туманная. По измерениям ФАР данная толща морской воды полностью «видна» при спутниковых наблюдениях.

Стоит отметить, что под вихрем на глубинах в диапазоне 20–30 м на пикноклине наблюдаются высокие концентрации хлорофилла-*a*, что типично для данного района в этот сезон [44].

Из спутниковых данных, представленных на рис. 1, не удалось восстановить концентрации хлорофилла-*a* из-за сбоя алгоритмов атмосферной коррекции [45], которые были вызваны наличием атмосферной приводной дымки. Поэтому для анализа вариаций в индексах цвета моря и дистанционных оценках хлорофилла-*a* были использованы судовые измерения спектров коэффициентов яркости моря.

На рис. 3 представлены спектры индексов цвета R_{λ} (спектры коэффициентов яркости моря $Rrs(\lambda)$ нормированные на $Rrs(555)$). На рис. 4 показана изменчивость индексов цвета R_{412} , R_{490} и R_{555} на станциях.

На станции 1 (до прохождения вихря) индексы цвета имеют максимальное значение (≈ 1.8 – чистая вода). На станции 9 (после прохождения) значения ниже ($\approx 1.4-1.5$). Но оба измерения объединяет то, что в диапазоне 380–450 нм значения $Rrs(\lambda)$ – максимальны. Это связано с тем, что в данных водах влияние ОРОВ минимально и по всей видимости отсутствует влияние реки Туманной.

Индексы цвета на станции 2 (на границе действия вихря) и на станции 7 (относительно чистая вода между периферией и ядром вихря) ниже по сравнению со станциями 1, 9, значения варьировались от 1.2 до 1.5.

Самые низкие значения индексов цвета на станциях 4, 5, 6, 8. Станции 4, 5, 6 – в струе на периферии вихря. Станция 8 – ближайшая к ядру вихря. На ней значения индексов цвета были минимальны.

Сравнение десятичных логарифмов индексов цвета и концентрации хлорофилла-*a* по STD-зонду (средние в верхнем 5-метровом слое) представлены на рис. 5. Значение коэффициента детерминации $R^2 = 0.7578$ показывает, что данные имеют сильную статистическую связь как внутри вихря, так и вне его. Отсюда можно сделать вывод, что в пределах ошибок измерений и эксперимента воздействие субмезомасштабного вихря не повлияло на восстановление концентрации хлорофилла-*a* из дистанционных данных.

Из полученной на рис. 5 зависимости можно восстановить концентрации хлорофилла-*a* из дистанционных измерений по следующей формуле (1) (OC2-подобный алгоритм):

$$C_{cr} = 10^{(-1.6198 \times \log_{10}(R_{rs}(490)/R_{rs}(555)) + 0.2234)} \quad (1)$$

В табл. 1 приведена сводная информация по значениям контактных и дистанционных измерений гидрооптических, гидробиологических и гидрологических характеристик, по которым можно сделать вывод о наиболее контрастных величинах для определения местоположения вихря. Для контактных определений приведены средние значения в верхнем 5-метровом слое. Для всех параметров посчитано среднее значение для станций 1, 7, 9 и аномалии в абсолютных значениях (Δ) и в процентах (δ) относительно данного среднего.

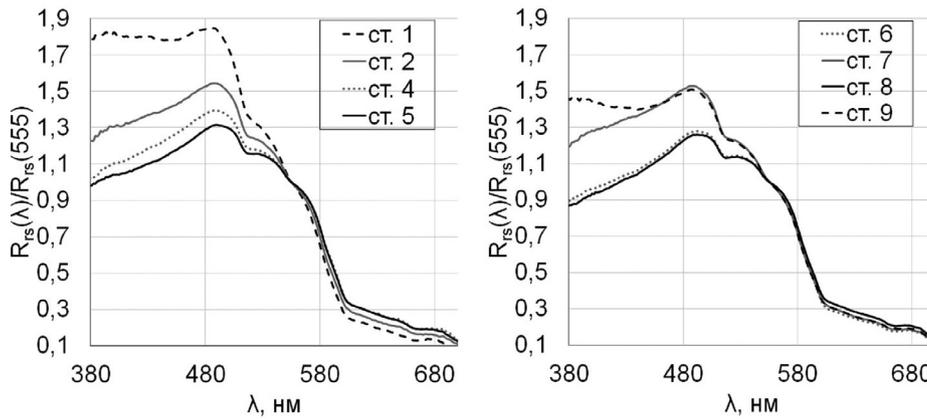


Рис. 3. Спектры коэффициентов яркости моря при прохождении вихря: 1 – до вихря по ходу движения судна; 2, 4, 5, 6 – в струе на периферии вихря; 7 – между периферией и ядром вихря; 8 – около ядра вихря; 9 – после вихря по ходу движения судна.

Fig. 3. Spectra of sea brightness coefficients during the passage of an eddy: 1 – before the eddy in the direction of the vessel’s movement; 2, 4, 5, 6 – in the jet at the periphery of the eddy; 7 – between the periphery and the core of the eddy; 8 – near the core of the eddy; 9 – after the eddy in the direction of the ship.

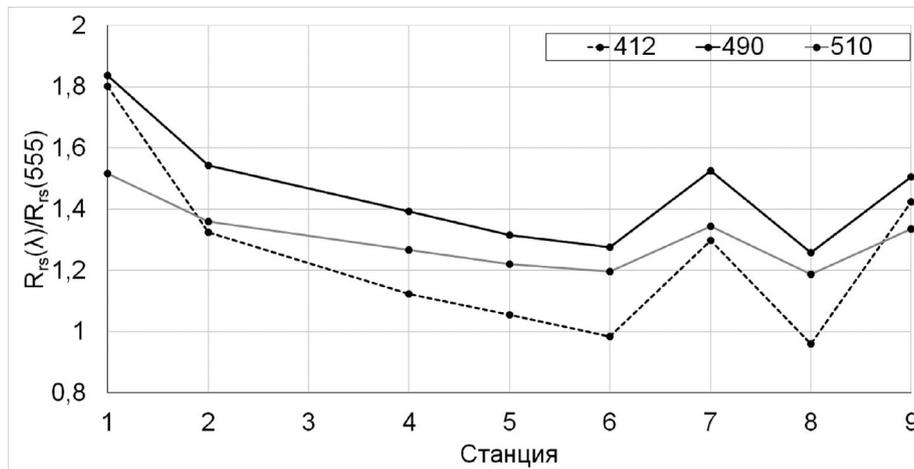


Рис. 4. Изменчивость индексов цвета на станциях.

Fig. 4. Variability of color indices at stations.

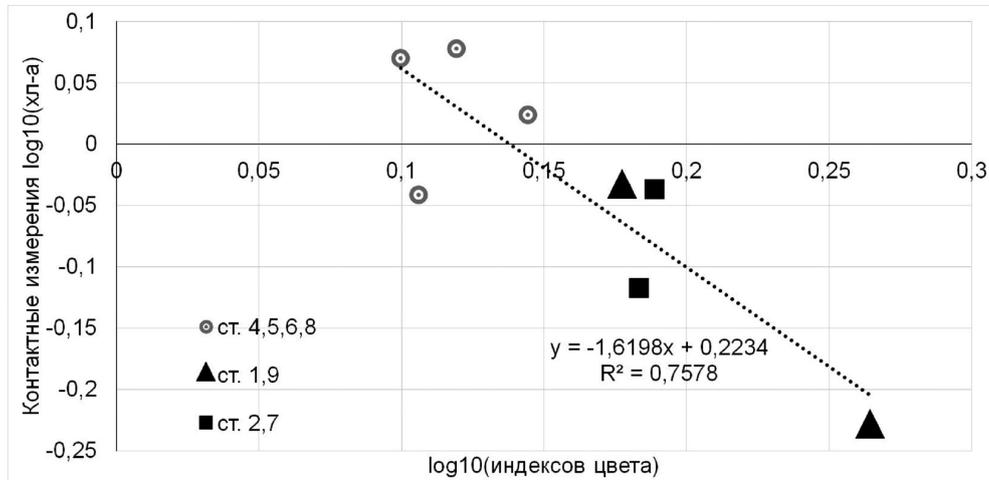


Рис. 5. Сравнение десятичных логарифмов индексов цвета и концентраций хлорофилла-а по CTD измерениям.

Fig. 5. Comparison of decimal logarithms of color indices and concentrations of Chlorophyll-a according to CTD measurements.

Таблица 1

Значение контактных и дистанционных измерений гидрооптических, гидробиологических и гидрологических характеристик при прохождении субмезомасштабного вихря
The value of contact and remote measurements of hydro-optical, hydro-biological and hydrological characteristics during submesoscale eddy passage

Параметр	Номер станции									Ср. знач. (1,7,9)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<i>In-situ</i> соленость (епс)	x_i	32.41	31.87	31.47	31.93	31.75	32.02	32.28	31.51	32.10	32.26
	D	0.15	-0.39	-0.79	-0.33	-0.51	-0.24	0.02	-0.75	-0.17	0.00
	d, %	0.46%	-1.21%	-2.46%	-1.02%	-1.59%	-0.74%	0.05%	-2.32%	-0.51%	0.00%
<i>In-situ</i> конц. ОРОВ (мг/м ³)	x_i	1.17	1.66	1.78	1.75	1.88	1.56	1.25	1.81	1.33	1.25
	D	-0.08	0.40	0.53	0.50	0.63	0.31	0.00	0.55	0.08	0.00
	d, %	-6.45%	32.33%	42.56%	40.17%	50.24%	24.97%	-0.13%	44.32%	6.58%	0.00%
<i>In-situ</i> конц. хл-а (мг/м ³)	x_i	0.59	0.92	1.04	1.06	1.20	0.91	0.76	1.17	0.92	0.76
	D	-0.17	0.16	0.29	0.30	0.44	0.15	0.01	0.42	0.16	0.00
	d, %	-22.49%	21.56%	37.96%	39.81%	58.33%	20.37%	0.93%	55.29%	21.56%	0.00%
<i>In-situ</i> темп. воды (°C)	x_i	19.80	19.74	19.99	19.57	19.85	20.20	19.65	20.32	20.34	19.93
	D	-0.13	-0.19	0.06	-0.37	-0.08	0.27	-0.28	0.38	0.40	0.00
	d, %	-0.64%	-0.96%	0.28%	-1.84%	-0.40%	1.37%	-1.39%	1.92%	2.03%	0.00%
Дист. R412	x_i	1.799	1.324		1.122	1.054	0.986	1.297	0.962	1.425	1.51
	D	0.29	-0.18		-0.39	-0.45	-0.52	-0.21	-0.55	-0.08	0.00
	d, %	19.36%	-12.13%		-25.55%	-30.04%	-34.56%	-13.93%	-36.19%	-5.43%	0.00%
Дист. R490	x_i	1.837	1.542		1.393	1.315	1.274	1.524	1.256	1.503	1.62
	D	0.22	-0.08		-0.23	-0.31	-0.35	-0.10	-0.37	-0.12	0.00
	d, %	13.28%	-4.91%		-14.07%	-18.88%	-21.45%	-5.99%	-22.53%	-7.28%	0.00%
Дист. R510	x_i	1.517	1.358		1.265	1.219	1.194	1.343	1.186	1.334	1.40
	D	0.12	-0.04		-0.13	-0.18	-0.20	-0.06	-0.21	-0.06	0.00
	d, %	8.53%	-2.82%		-9.52%	-12.79%	-14.58%	-3.94%	-15.17%	-4.60%	0.00%
Дист. конц. хл-а (мг/м ³)	x_i	0.62	0.83		0.98	1.07	1.13	0.84	1.15	0.86	0.78
	D	-0.15	0.05		0.20	0.30	0.35	0.07	0.38	0.09	0.00
	d, %	-19.75%	6.53%		25.72%	38.09%	45.17%	8.72%	48.52%	11.03%	0.00%

Из табл. 1 видно, что проявление вихря наблюдается по всем представленным характеристикам кроме температуры. Наиболее контрастными характеристиками для детектирования рассматриваемого субмезомасштабного вихря были соленость и концентрация ОРОВ.

За счет повышенного содержания ОРОВ, на концентрацию которого мог влиять сток реки Туманной, в дистанционных данных наибольший контраст вихря достигается на длине волны – 412 нм. Также, контраст проявления вихря заметен в дистанционных определениях концентрации хлорофилла-*a* по формуле (1).

Стоит ожидать, что полученные результаты будут применимы и для других вихрей из рассматриваемой цепочки вихрей в связи с похожестью места зарождения, траектории распространения и близости по времени перемещения.

5. Заключение

По данным пространственного распределения гидрологических, гидробиологических и гидрооптических параметров выявлено, что рассматриваемый субмезомасштабный вихрь в южной части залива Петра Великого повлиял на структуру всех рассмотренных параметров кроме температуры морской воды. Вихрь характеризуется пониженной соленостью и повышенным содержанием ОРОВ, что может быть обусловлено переносом вод р. Туманной. Это также подтверждается в дистанционно определенных индексах цвета моря, где наибольший контраст вихря наблюдается на длине волны 412 нм. Кроме этого, значимые контрасты наблюдаются для дистанционно определенной концентрации хлорофилла-*a*. Глубина основной части вихря составила 5–7 м и полностью находится в зоне, наблюдаемой со спутника в видимом спектральном диапазоне.

Полученные результаты могут быть использованы для лучшего детектирования субмезомасштабных вихрей из спутниковых данных по цвету моря, а также для оценки объема переносимых вод р. Туманной к берегам полуострова Гамова.

6. Финансирование

Исследование влияния субмезомасштабного вихря на стратификацию оптически активных компонентов выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90105, обработка и анализ дистанционных данных выполнены в рамках госбюджетной темы № 0211-2021-0007 «Технологии дистанционного зондирования Земли и наземных измерительных систем в комплексных исследованиях динамических явлений в океане и атмосфере» (рег. номер 121021500054-3).

Литература

1. *Garcia, Carlos & Y.V.B, Sarma & Mata, Mauricio & Garcia, Virginia.* Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region // *Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography.* 2004. V. 51. P. 159–172. doi: 10.1016/j.dsr2.2003.07.016
2. *Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Nezlin N.P., Soloviev D., Stanichny S.* Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea // *J. Mar. Syst.* 2002. V. 32. P. 91–106. doi: 10.1016/S0924-7963(02)00035-0
3. *Самолубов Б.И., Иванова И.Н.* Динамика вод и диффузия примесей в Онежском озере при разной устойчивости плотностной стратификации // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон.* 2019. № 1. С. 80–85.
4. *Александрин А.И., Загуменнов А.А.* Автоматическое выделение вихрей океана и расчет их формы // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2008. Т. 5, № 2. С. 17–21.
5. *Каримова С.С.* Статистический анализ субмезомасштабных вихрей Балтийского, Черного и Каспийского морей по данным спутниковой радиолокации // *Исследование Земли из космоса.* 2012. № 3. С. 31–47.
6. *Гурвич И.А., Пичугин М.К.* Исследование характеристик интенсивных мезомасштабных циклонов над дальневосточными морями на основе спутникового мультисенсорного зондирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2013. Т. 10, № 1. С. 051–059.
7. *Митник Л.М., Булатов Н.В., Лобанов В.Б.* Синоптические вихри в океане на спутниковых радиолокационных изображениях // *Доклады Академии наук СССР.* 1989. Т. 307, № 2. С. 454–456.
8. *Александрин А.И., Ким В.* Автоматическое обнаружение внутренних волн на спутниковых изображениях и оценка плотности перемешанного слоя // *Исследование Земли из космоса.* 2015. № 1. С. 44–52.
9. *Александрин А.И., Александрина М.Г.* Автоматическое выделение вихрей по спутниковым инфракрасным (ИК) изображениям // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2004. Т. 1, № 1. С. 382–386.

10. *Александрин А.И., Загуменнов А.А.* Автоматическое выделение вихрей океана и расчет их формы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5, № 2. С. 17—21.
11. *Кубряков А.А., Белоненко Т.В., Станичный С.В.* Влияние синоптических вихрей на температуру морской поверхности в северной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 2. С. 34—43. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-34-43
12. *Каримова С.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М.* Наблюдение вихревых структур балтийского моря с помощью радиолокационных и радиометрических спутниковых данных // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 15—23.
13. *Жабин И.А., Лукьянова Н.Б.* Субмезомасштабные вихревые дорожки в районе Шантарских островов (Охотское море) по данным спутникового дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2020. № 3. С. 38—44. doi: 10.31857/S0205961420020074
14. *Музылёва М.А., Полонский А.Б., Станичный С.В.* Апвеллинг и пространственно-временная изменчивость концентрации хлорофилла-а в северо-западной части Черного моря и у побережья Крым // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2010. № 23. С. 109—116.
15. *Алескерова А.А., Кубряков А.А., Горячкин Ю.Н., Станичный С.В., Гармашов А.В.* Распределение взвешенного вещества у западного побережья Крыма при воздействии сильных ветров различных направлений // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 74—88. doi: 10.31857/S0205-96142019274-88
16. *Александрин А.И., Загуменнов А.А.* Автоматическое выделение вихрей океана и расчет их формы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5, № 2. С. 17—21.
17. *Липинская Н.А., Салюк П.А.* Исследование воздействия внутренних волн на оптические характеристики поверхности моря в шельфовой зоне залива Петра Великого // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 2. С. 51—59. doi: 10.7868/S2073667320020069
18. *Журбас В.М., Зацепин А.Г., Григорьева Ю.В.* и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрейфтерным данным // Океанология. 2004. Т. 44, № 1. С. 34—48.
19. *Kim, Dongseon & Yang, Eun-Jin & Kim, Kyoungkon & Shin, Chang-Woong & Park, Jisoo & Yoo, Sinjae & Hyun, Jung-Ho & Kim, Dolee & Kim, E.* Impact of an anticyclonic eddy on the summer nutrient and chlorophyll-a distributions in the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea) // ICES Journal of Marine Science. 2011. V. 69. P. 23—29.
20. *Суторихин И.А., Букатый В.И., Котовицков А.В., Акулова О.Б.* Исследование спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла в пойменном озере (бассейн Верхней Оби, Алтайский край) // Известия АлтГУ. 2012. № 1. С. 226—228.
21. *Kouketsu S., Kaneko H., Okunishi T., Sasaoka K., Itoh S., Inoue R., Ueno H.* Mesoscale eddy effects on temporal variability of surface chlorophyll a in the Kuroshio Extension // Journal of Oceanography. 2015. V. 72. P. 439—451.
22. *Thomas L.N., Tandon A., Mahadevan A.* Submesoscale processes and dynamics // Eddy Resolving Ocean Modeling, Geophysical Monograph. Ser. 2008. V. 177, edited by M. W. Hecht and H. Hasumi. P. 17—38.
23. *Монин А.С.* О типах океанских мезоструктур // Океанология. 1995. Т. 34, № 6. С. 819—822.
24. *Niewiadomska Katarzyna, Claustre HervÉ, Prieur Louis, d'Ortenzio Fabrizio.* Submesoscale physical-biogeochemical coupling across the Ligurian current (northwestern Mediterranean) using a bio-optical glider // Limnology and Oceanography. 2008. V. 53. P. 2210—2225.
25. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н.* Изучение гидродинамических процессов в шельфовой зоне на основе спутниковой информации и данных подспутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 5. С. 98—129.
26. *Карабашев Г.С., Евдошенко М.А., Шеберстов С.В.* Анализ проявлений мезомасштабного водообмена на спутниковых снимках морской поверхности // Океанология. 2005. Т. 45, № 2. С. 182—192.
27. *Александрин А.И., Загумёнов А.А.* Проблемы автоматического обнаружения вихрей океана по спутниковым ИК-изображениям // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С. 65—74.
28. *O'Reilly J.E., Werdell P.J.* Chlorophyll algorithms for ocean color sensors – OC4, OC5 and OC6 // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 229. P. 32—47. doi: 10.1016/j.rse.2019.04.021
29. *Корчёмкина Е.Н., Мольков А.А.* Региональный биооптический алгоритм для Горьковского водохранилища: первые результаты // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 3. С. 184—192. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-184-192
30. *Салюк П.А., Стёпочкин И.Е., Голик И.А., Букин О.А., Павлов А.Н., Александрин А.И.* Разработка эмпирических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла-а и окрашенных растворенных органических веществ для дальневосточных морей из дистанционных данных по цвету водной поверхности // Исследование Земли из космоса. 2013. № 3. С. 45

31. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г. Использование современных спутниковых данных для мониторинга сгонно-нагонных явлений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 2. С. 227—242. doi: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-227-242
32. Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 2 // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 3. С. 57—64. doi: 10.21513/2410-8758-2017-3-57-64
33. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Шеберстов С.В., Буканова Т.В. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в юго-восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета // Океанология. 2016. Т. 56, № 1. С. 51—59.
34. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Японское море // Моря СССР. Изд-во Моск. ун-та, 1982.
35. Дубина В.А., Файман П.А., Пономарев В.И. Вихревая структура течений в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 173. С. 247—258.
36. Никитин А.А., Дьяков Б.С. Структура фронтов и вихрей в западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 124. С. 714—733
37. Isoda Y., Saitoh S. The northward intruding eddy along the east coast of Korea // Journal of Oceanography. 1993. V. 49. P. 443—458.
38. Вышварцев Д.И. Трансграничный поток загрязнений с водами реки Туманной // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 1997. № 2. С. 88.
39. Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина (№ 1401). СПб. : ГУНИО, 1996. С. 354
40. Tkalin A.V., Shapovalov E.N. Influence of Typhoon Judy on chemistry and pollution of the Japan Sea coastal water near the Tumangan river mouth // Ocean Research. 1991. V.13, № 12. P. 95—101.
41. Майор А.Ю., Букин И.О., Салюк П.А. Лазерный флуориметр для исследования подводной среды / Патент на полезную модель RU157814 U1, 10.12.2015. Заявка № 2015100479/28 от 12.01.2015
42. Темердашев З.А., Павленко Л.Ф., Ермакова Я.С., Корпакова И.Г., Елецкий Б.Д. Экстракционно-флуориметрическое определение хлорофилла «а» в природных водах // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23, № 3. С. 323—333. doi: 10.15826/analitika.2019.23.3.001
43. Mueller J., More, A., Frouin R. et al. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation // Radiometric Measurements and Data Analysis Protocols. 2003. Revision 4, V. 3. P. 78.
44. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Шу С. Определение концентрации хлорофилла «а» в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 482—490. doi: 10.7868/S0030157416020210
45. Копелевич О.В., Буренков В.И., Шеберстов С.В. Разработка и использование региональных алгоритмов для расчета биооптических характеристик морей России по данным спутниковых сканеров цвета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. В. 3. Т. 2. С. 99—105.

References

1. Garcia, Carlos & Y.V.B., Sarma & Mata, Mauricio & Garcia, Virginia. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2004, 51, 159—172. doi: 10.1016/j.dsr2.2003.07.016
2. Ginzburg, Anna & Kostianoy, Andrey & Nezlin, Nikolay & Soloviev, Dmitry & Stanichny, Sergey. Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea. *Journal of Marine Systems*. 2002, 32, 91—106. doi: 10.1016/S0924-7963(02)00035-0
3. Samolyubov B.I., Ivanova I.N. Dynamics of waters and diffusion of impurities in Lake Onega with different stability of density stratification. *Moscow University Physics Bulletin*. 2019, 1, 80—85 (in Russian).
4. Aleksanin A.I., Zagumenov A.A. Automatic detection of ocean vortices and calculation of their shape. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2008, 5, 2, 17—21 (in Russian).
5. Karimova S.S. Statistical analysis of sub-mesoscale eddies of the Baltic, Black and Caspian seas according to satellite radar data. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2012, 3, 31—47 (in Russian).
6. Gurvich I.A., Pichugin M.K. Investigation of the characteristics of intense mesoscale cyclones over the Far Eastern seas based on satellite multisensor sensing. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2013, 10, 1, 051—059 (in Russian).
7. Mitnik L.M., Bulatov N.V., Lobanov V.B. Synoptic eddies in the ocean on satellite radar images. *Doklady Akademii Nauk USSR*. 1989, 307, 2, 454—456 (in Russian).
8. Aleksanin A.I., Kim V. Automatic detection of internal waves in satellite images and estimation of the density of the mixed layer. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2015, 1, 44 (in Russian).

9. Aleksanin A.I., Aleksanina M.G. Automatic vortex detection by satellite infrared (IR) images. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2004, 1, 1, 382–386 (in Russian).
10. Aleksanin A.I., Zagumennov A.A. Automatic detection of ocean vortices and calculation of their shape. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2008, 5, 2, 17–21 (in Russian).
11. Kubryakov A.A., Belonenko T.V., Stanichny S.V. Influence of synoptic eddies on the sea surface temperature in the northern part of the Pacific Ocean. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2016, 13, 2, 34–43 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-34-43
12. Karimova S.S., Lavrova O.Yu., Soloviev D.M. Observation of vortex structures in the Baltic Sea using radar and radio-metric satellite data. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2011, 5, 15–23 (in Russian).
13. Zhabin I.A., Lukyanova N.B. Submesoscale vortex paths in the region of the Shantar Islands (Sea of Okhotsk) according to satellite remote sensing data. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2020, 3, 38–44 (in Russian). doi: 10.31857/S0205961420020074
14. Muzylyova M.A., Polonskiy A.B., Stanichny S.V. Upwelling and spatiotemporal variability of chlorophyll-a concentration in the northwestern part of the Black Sea and off the coast of Crimea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Integrated Use of Shelf Resources*. 2010, 23, 109–116 (in Russian).
15. Aleskerova A.A., Kubryakov A.A., Goryachkin Yu.N., Stanichny S.V., Garmashov A.V. Distribution of suspended matter near the western coast of Crimea under the influence of strong winds of various directions. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2019, 2, 74–88 (in Russian). doi: 10.31857/S0205-96142019274-88
16. Aleksanin A.I., Zagumennov A.A. Automatic detection of ocean vortices and calculation of their shape. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2008, 5, 2, 17–21 (in Russian).
17. Lipinskaya N.A., Salyuk P.A. Investigation of the effect of internal waves on the optical characteristics of the sea surface in the shelf zone of the Peter the Great Bay. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2020, 13, 2, 51–59 (in Russian). doi: 10.7868/S2073667320020069
18. Zhurbas V.M., Zatselin A.G., Grigorieva Yu.V. et al. Water circulation and characteristics of different-scale currents in the upper layer of the Black Sea according to drifter data. *Oceanology*. 2004, 44, 1, 30–43.
19. Kim, Dongseon & Yang, Eun-Jin & Kim, Kyoungkon & Shin, Chang-Woong & Park, Jisoo & Yoo, Sinjae & Hyun, Jung-Ho & Kim, Dolee & Kim, E. Impact of an anticyclonic eddy on the summer nutrient and chlorophyll *a* distributions in the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea). *ICES Journal of Marine Science*. 2011, 69, 23–29.
20. Sutorikhin I.A., Bukaty V.I., Kotovshchikov A.V., Akulova O.B. Investigation of spectral transparency and chlorophyll concentration in a floodplain lake (Upper Ob basin, Altai Territory). *Izvestiya AltGU*. 2012, 1, 226–228 (in Russian).
21. Kouketsu S., Kaneko H., Okunishi T., Sasaoka K., Itoh S., Inoue R., Ueno H. Mesoscale eddy effects on temporal variability of surface chlorophyll *a* in the Kuroshio Extension. *Journal of Oceanography*. 2015, 72, 439–451.
22. Thomas L.N., Tandon A., Mahadevan A. Submesoscale processes and dynamics, in *Eddy Resolving Ocean Modeling. Geophysical Monograph Ser.* 2008, 177, edited by M. W. Hecht and H. Hasumi. P. 17–38.
23. Monin A.S. On the types of oceanic mesostructures. *Oceanology*. 1995, 34, 6, 819–822.
24. Niewiadomska Katarzyna, Claustre HervÉ, Prieur Louis, d’Ortenzio Fabrizio. Submesoscale physical-biogeochemical coupling across the Ligurian current (northwestern Mediterranean) using a bio-optical glider. *Limnology and Oceanography*. 2008, 53, 2210–2225.
25. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Sabinin K.D., Serebryany A.N. Study of hydrodynamic processes in the shelf zone on the basis of satellite information and data from sub-satellite measurements. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2015, 12, 5, 98–129 (in Russian).
26. Karabashev G.S., Evdoshenko M.A., Sheberstov S.V. Analysis of manifestations of mesoscale water exchange on satellite images of the sea surface. *Oceanology*. 2005, 45, 2, 168–178.
27. Aleksanin A.I., Zagumyonov A.A. Problems of automatic detection of ocean eddies from satellite infrared images. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2011, 3, 65–74 (in Russian).
28. O’Reilly J.E., Werdell P.J. Chlorophyll algorithms for ocean color sensors – OC4, OC5 and OC6. *Remote Sensing of Environment*. 2019, 229, 32–47. doi: 10.1016/j.rse.2019.04.021
29. Korchemkina E.N., Molkov A.A. Regional bio-optical algorithm for the Gorky reservoir: first results. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2018, 15, 3, 184–192 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-184-192
30. Salyuk P.A., Stepankin I.E., Golik I.A., Bukin O.A., Pavlov A.N., Aleksanin A.I. Development of empirical algorithms for restoring the concentration of chlorophyll-a and colored dissolved organic substances for the Far Eastern seas from remote sensing data on the color of the water surface. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2013, 3, 45 (in Russian).
31. Lavrova O.Yu., Kostyanoy A.G. The use of modern satellite data for the monitoring of surge phenomena. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2020, 17, 2, 227–242 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-227-242

32. Kostyanoy A.G. Satellite monitoring of climatic parameters of the ocean. Part 2. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Klimatologiya*. 2017, 3, 57—64 (in Russian). doi: 10.21513/2410-8758-2017-3-57-64
33. Kopelevich O.V., Vazyulya S.V., Sheberstov S.V., Bukanova T.V. Suspended matter in the surface layer of the southeastern Baltic from satellite data. *Oceanology*. 2016, 56, 1, 46—54. doi: 10.1134/S0001437016010069
34. Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S. Sea of Japan. Morya USSR. *Izdatelstvo Mosk. Un-ta, 1982* (in Russian).
35. Dubina V.A., Fayman P.A., Ponomarev V.I. Eddy structure of currents in the Peter the Great Bay. *Izv. TINRO*. 2013, 173, 247—258 (in Russian).
36. Nikitin A.A., Dyakov B.S. The structure of fronts and eddies in the western part of the Sea of Japan. *Izv. TINRO*. 1998, 124, 714—733 (in Russian).
37. Isoda Y., Saitoh S. The northward intruding eddy along the east coast of Korea. *Journal of Oceanography*. 1993, 49, 443—458.
38. Vyshkvartsev D.I. Transboundary flow of pollution with the waters of the Tumannaya River. *Vestnik Dal'nevostochnogo Otdeleniya Rossijskoj Akademii Nauk*. 1997, 2, 88 (in Russian).
39. Navigation of the north-western coast of the Sea of Japan from the Tumannaya River to Cape Belkin (No. 1401). *SPb., GUNIO*, 1996. 354 p. (in Russian).
40. Tkalin A.V., Shapovalov E.N. Influence of Typhoon Judy on chemistry and pollution of the Japan Sea coastal water near the Tumangan river mouth. *Ocean Research*. 1991, 13, 12, 95—101.
41. Major A.YU., Bukin I.O., Salyuk P.A. Lazernyj fluorimetr dlya issledovaniya podvodnoj sredy. *Patent na poleznuyu model' RU157814 U1*, 10.12.2015. Zayavka № 2015100479/28 ot 12.01.2015. (in Russian).
42. Temerdashev Z.A., Pavlenko L.F., Ermakova Y.S., Korpakova I.G., Yeletskiy B.D. Extraction-fluorimetric determination of chlorophyll «a» in natural waters. *Analitika i Kontrol*. 2019, 23, 3, 323—333 (in Russian).
43. Mueller J., More A., Frouin R. et al. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation. *Radiometric Measurements and Data Analysis Protocols*. 2003, rev. 4, 3, 78.
44. Zakharkov S.P., Streikhert E.A., Shambarova Yu.V., Gordeychuk T.N., Shi S. Measuring chlorophyll-a concentrations in the Sea of Japan using probe and flow fluorimeters. *Oceanology*. 2016, 56, 3, 444—451. doi: 10.1134/S000143701602020X
45. Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V. Development and use of regional algorithms for calculating the bio-optical characteristics of the seas of Russia according to satellite color scanners. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2006, 2, 3, 99—105 (in Russian).

К статье *Липинская Н.А., Салюк П.А.* Анализ гидробиологических и гидрооптических характеристик в суб-мезомасштабных вихрях в заливе...
Lipinskaia N.A., Salyuk P.A. Analysis of hydro-biological and hydro-optical characteristics in submeso-scale eddies in the Gulf...

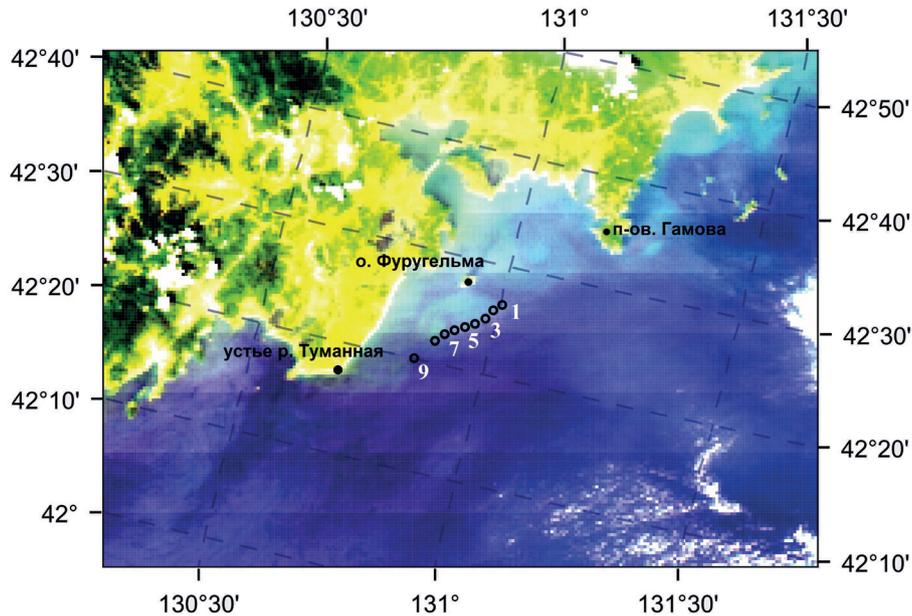


Рис. 1. Спутниковое RGB изображение с коррекцией цветовых уровней со сканера MODIS-Aqua 04.09.2009 (04:15 UTC и 15:15 местного времени) с местоположением судовых станций (с 12:12 по 15:01 по местному времени).
Fig. 1. Satellite RGB image with color level correction from the MODIS-Aqua scanner 09.04.2009 (04:15 UTC and 15:15 local time) with the location of ship stations (from 12:12 to 15:01 local time).

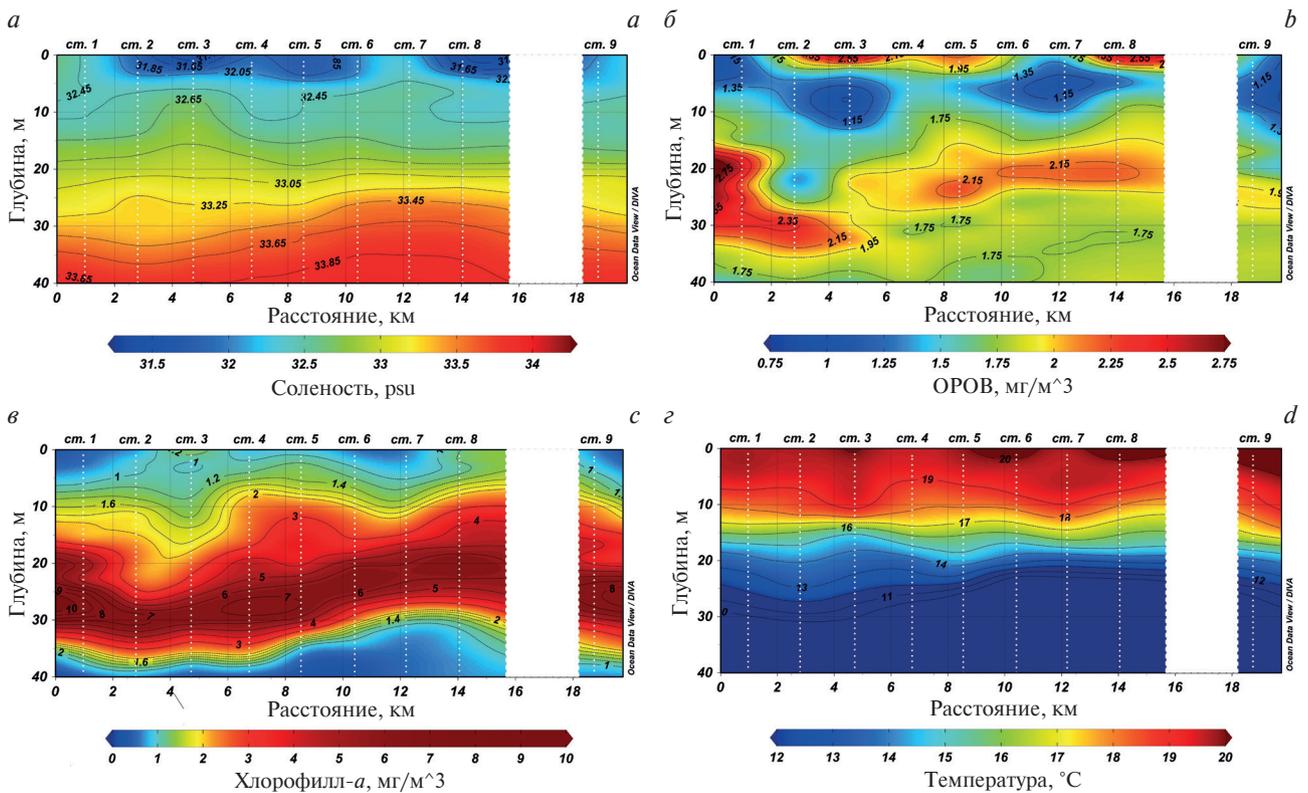


Рис. 2. Глубинные профили: солёность (а), концентрация ОРОВ (б), концентрация хлорофилла-а (в), температура (г).
Fig. 2. Deep profiles (a) salinity, CDOM concentration (b), Chl-a concentration (c), temperature (d).