

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПО ДАННЫМ ПАССИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В. В. Ростовцева

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, 36,
e-mail: vera@ocean.ru*

Для характеристики и сравнения различных прибрежных районов морей, включающих плюмы рек и зоны смешения вод в проливах, предложена методика расположения их на специальной диаграмме (Диаграмме типов вод). Здесь выделяются зоны вод, близких по составу к океаническим водам, а также воды с избытком взвешенных веществ и/или с избытком растворенного органического вещества. При этом есть возможность проводить сравнение процессов в водах различной трофности. В работе приведены расчеты по данным пассивного оптического зондирования с борта судна для открытого океана, Черного моря, Керченского пролива, Карского моря и плюма реки Рио-Гранде у Бразильского побережья Атлантического океана.

Ключевые слова: прибрежные морские воды, плюмы рек, пассивное оптическое зондирование, коэффициент спектральной яркости моря, концентрация взвешенного вещества, концентрация пигментов фитопланктона, концентрация растворенной органики

Введение

В последнее время в практической океанологии все большее значение приобретает исследование прибрежных и внутренних морей как объектов, имеющих наибольшее значение для жизни и хозяйства миллионов людей. При этом выявляются все новые отличия этих вод от вод центрального океана, зависящие от впадающих в них рек, смешения вод различных акваторий, прибрежных апвеллингов и даунвеллингов, течений, таяния льда и антропогенного влияния хозяйственной деятельности человека. Многочисленные реки, впадающие в прибрежные моря, вызывают появление речных плюмов, характеризующихся прежде всего той или иной степенью распресненности воды, а также отличным от окружающей акватории режимом перемешивания вод, что наиболее полно отражено в (Осадчиев, 2021; Bargu et al., 2019; Morozov et al., 2024). Обширные плюмы приводят к появлению и отрыву линз, распространяющихся иногда на большие расстояния (Зацепин и др., 2017; Маккавеев и др., 2010), а также формируют особый режим течений при взаимодействии плюмов даже малых рек с цепочками вихревых структур (Korotenko et al., 2023). Эффекты при смешении вод различных акваторий при ветровом воздействии и наличии разнонаправленных

течений наиболее ярко проявляются в Черном море в районе Керченского пролива (Чепыженко и др., 2015; Zaviyalov et al., 2020). Изменение солёности и состава воды влияет на всю экосистему прибрежных зон (Carmack et al., 2016; Dabuleviciene et al., 2018; Маккавеев и др., 2017; Kubryakov et al., 2018). Видно, что огромное разнообразие условий в прибрежных зонах океана вызывает там самые различные процессы, однако в то же время есть и схожие условия, которые делают самые географически удаленные зоны похожими. Возникает потребность введения общих критериев, позволяющих, во-первых, отделить особенные воды прибрежных акваторий от вод центрального (удаленного от берегов) океана, а во-вторых, провести параллели между районами со схожими свойствами в различных географических зонах.

Все прибрежные воды океана и внутренних морей можно характеризовать не только по количеству содержащегося в них фитопланктона, ответственного за первичную продукцию, и не только по прозрачности, которая обеспечивается разными причинами. Для прибрежных вод важно, насколько они отличаются от собственно океанских вод, то есть какую роль в них играют береговые факторы – плюмы рек, течения из проливов, влияние взмучивания донных осадков или, например, пылевых бурь над поверхностью воды. Это можно установить, определив, отличаются ли такие воды от вод, не подверженных береговому влиянию.

В первом приближении можно считать, что воды океана включают в себя четыре компонента: собственно морскую воду, суспензию живого фитопланктона, минеральную и органическую взвесь и растворенные органические вещества. В районах морей и океанов, не подверженных влиянию береговых явлений, соотношения между этими величинами остаются на определенном уровне, так как они обеспечиваются в целом процессами жизнедеятельности самого планктона. При приближении к берегу появляются другие факторы, которые меняют эти соотношения: например, реки могут выносить в море взвесь и органику, не связанные с морским фитопланктоном.

В этой работе, исследуя такие соотношения, выявлены районы с водами океанского типа и с водами, подвергающимися влиянию береговых процессов.

Средства и методы

Для построения критерия близости прибрежных вод к водам океанского типа необходимо иметь ряд однородных измерений всех трех природных компонент морской воды. В работе использованы результаты расчета концентрации всех трех компонент, содержащихся в морской воде, по измерениям пассивными оптическими средствами с борта судна. Так, с борта движущегося судна вычислялся коэффициент спектральной яркости моря (КСЯ), получаемый сотрудниками ИО РАН по трем измеренным спектрам: спектру восходящего от моря излучения, спектру участка неба, дающего наибольший вклад в отраженное от поверхности воды излучение, и спектру общей освещенности моря. Первоначально такие измерения проводились с

помощью аппаратуры, описанной в (Матюшенко и др., 1996), в дальнейшем с усовершенствованием приемника перешли к (Ростовцева, 2015; Ростовцева и др., 2017b), далее использовали полуавтоматический пассивный трехканальный оптический комплекс ЭММА (Экологический Мониторинг Морских Акваторий), позволяющий получать все три спектра одновременно с частотой 1 Гц (Гончаренко и др., 2018). В процессе специальной обработки концентрации всех трех компонент оценивались в единицах показателя поглощения света: показатель поглощения света на 440 нм пигментами фитопланктона (ax), показатель поглощения света взвесью (as), не зависящий от длины волны в диапазоне 400–600 нм, и показатель поглощения света органическим веществом на длине волны 500 нм (ay). Следует отметить, что полученные показатели поглощения света однозначно связаны с концентрацией исследуемых компонент и могут быть использованы в качестве оценки состава морской воды в верхнем просвечиваемом светом слое.

Так как основных природных компонент всего три, будем использовать для локализации каждого типа вод двумерное пространство, по оси абсцисс которого откладываются величины, пропорциональные концентрации показателя поглощения света органическим веществом, а по оси ординат – показателя поглощения света взвесью. Причем обе величины нормируются на концентрацию поглощения света пигментами фитопланктона таким образом, чтобы все пространство было ограничено значениями от 0 до 1 (по аналогии с построением цветового треугольника):

$$ay/(ay+ax) - \text{по оси абсцисс,} \quad (1)$$

$$as/(as+ax) - \text{по оси ординат.} \quad (2)$$

Измерения в открытом океане и в удаленных от берега зонах моря

Далее в этой области необходимо определить расположение зоны собственно океанских вод, то есть вод различной трофности, но не подверженных существенному влиянию береговых процессов. В открытом океане были получены данные по спектрам показателя вертикального ослабления и диффузного отражения света морем (Пелевин и др., 1997; Pelevin, Rostovtseva, 2001). По ним с помощью специальной методики были рассчитаны спектры показателя поглощения света водой и получены оценки концентрации природных компонент. Кроме того из всего ряда измерений КСЯ в прибрежных водах были выбраны те, которые проводились вдали от возможных источников взаимодействия с суши (Пелевин и др., 2000; Pelevin, Rostovtseva, 2000). В таблице 1 показаны районы проведения измерений, помещены оценки концентраций всех трех компонент, а также значения концентрации пигментов фитопланктона в единицах мг/м^3 , измеренные оптическим методом после фильтрации отобранных в этих же местах проб воды. Районы, наиболее удаленные от мест взаимодействия с берегом, отмечены кружками.

Рассчитанные по формулам (1) и (2) значения нанесены на Диаграмму типов вод (ДТВ), где значения, соответствующие выбранным, удаленным от берега, районам

также обведены кружками (рисунок 1). Видно, что, несмотря на разницу в 10–15 раз в трофности воды по количеству фитопланктона в различных районах Мирового океана, на ДТВ они занимают сравнительно небольшую область, обозначенную окружностью.

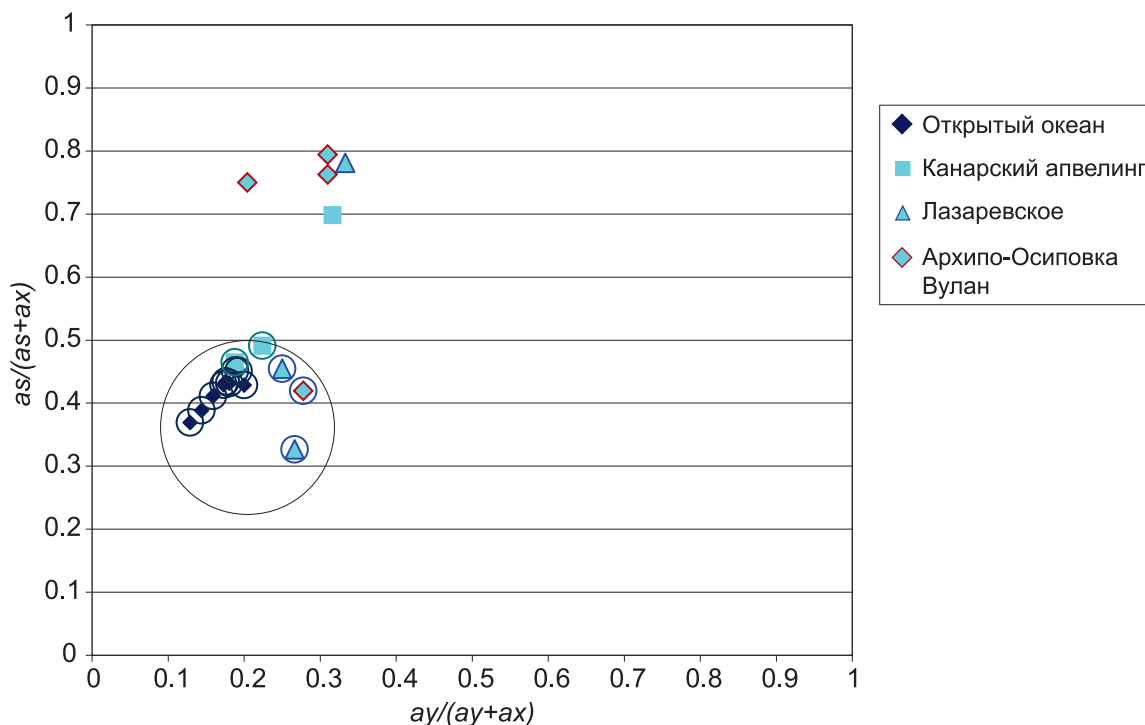


Рис. 1 – Диаграмма типов вод (ДТВ): расположение зоны океанских вод (таблица 1)

Измерения в прибрежных районах

Рассмотрим далее результаты измерений в прибрежных водах (рисунок 2). В северо-восточной части Черного моря (поселки Лазаревское и Архипо-Осиповка) увеличение концентрации органического вещества пропорционально увеличению количества фитопланктона, смещение на ДТВ наблюдается преимущественно по оси ординат, то есть, вероятно, реки приносят дополнительную минеральную взвесь (здесь глубина моря резко увеличивается при удалении от берега, так что, скорее всего, взмучивание донных осадков может быть менее заметно).

Интересно отметить, что при прохождении Канарского апвеллинга в некотором районе также наблюдается увеличение доли взвеси, что может быть вызвано принесенной восточным ветром пылью из районов Сахары. При этом эффект более заметен в водах меньшей продуктивности при подходе к Канарскому апвеллингу.

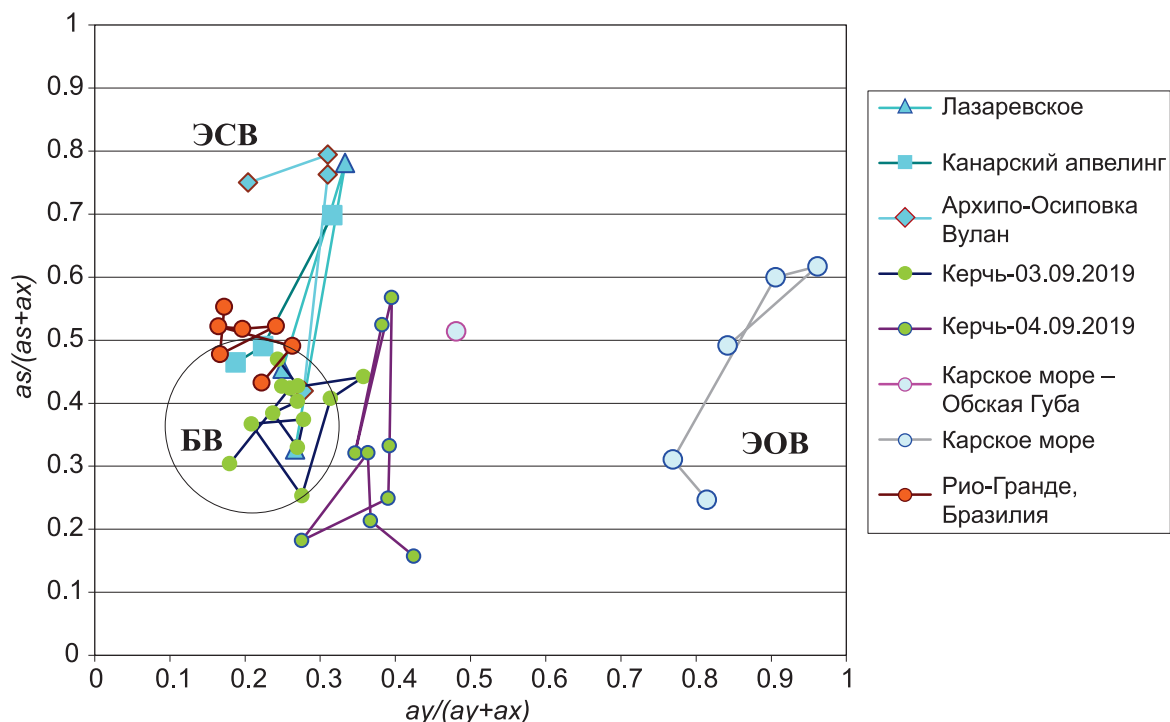


Рис. 2 – Диаграмма типов вод (ДТВ): расположение значений, рассчитанных по данным из различных прибрежных районов (таблицы 1 и 2). Типы прибрежных вод: воды баланса БВ (Balance Waters – BW), воды с эктра органикой ЭОВ (Extra Organic Waters – EOW), воды с эктра суспензией ЭСВ (Extra Suspension Waters – ESW)

В Керченском проливе происходит смешение вод двух морей. Измерения здесь проводились 03.09.2019 в узкой части южнее моста, с запада на восток и обратно, и 04.09.2019 – южнее этого разреза ближе к Черному морю (таблица 2). Видно, что при первом разрезе наблюдаются хорошо перемешанные воды, где соотношение между количеством фитопланктона, растворенной органикой и взвесью близко к соотношению в океанских водах. Однако южнее, в более глубокой части пролива, существенную роль играет влияние черноморских вод: общая концентрация фитопланктона и взвеси уменьшается, но вторжение азовоморских вод поддерживает концентрацию органического вещества на относительно высоком уровне, что вызывает смещение точек на диаграмме вправо.

В Карском море одним из наиболее продуктивных районов является Обская Губа – здесь концентрация пигментов фитопланктона может достигать 15 мг/м^3 (Rostovtseva et al., 2016). На ДТВ видно, что даже при таких концентрациях существует избыток органического вещества. В таблице также приведены характеристики, полученные по спектрам КСЯ на пяти станциях при движении судна с запада на восток на траверсе Обской Губы в Карском море, выявленные по спектрам КСЯ по данным пассивного оптического комплекса ЭММА в 2020 г. Концентрации природных компонентов здесь еще сравнительно высокие. На диаграмме ДТВ положение этих точек достаточно удалено от области, куда входят океанские воды – здесь концентрация растворенных органических веществ значительно превосходит концентрацию при

балансе с концентрацией фитопланктона. Также оказывается увеличена концентрация взвеси в некоторых точках – очевидно, на этом участке судно пересекало центральную часть плюма Оби.

У побережья Бразилии мощная река Рио-Гранде выносит свои воды в Атлантический океан, ее плюм хорошо виден из космоса. Мы провели съемку КСЯ с борта движущегося судна, начиная от устья реки и далее, пересекая плюм полукругом с возвращением к устью с противоположной стороны (Ростовцева и др., 2017а). Оценки концентрации всех трех природных компонент, полученные по спектрам КСЯ, приведены в таблице 2. Видно, что они иногда в десятки раз превосходят значения в других исследованных регионах, да и между собой различаются на порядок. Однако, на ДТВ (Диаграмме типов вод) все точки, относящиеся к этому району, расположены компактно и только несколько сдвинуты в сторону больших значений по оси ординат, по сравнению с положением, характеризующим воды открытого океана. Это говорит о том, что воды этой реки, впадающей в океан, приносят дополнительно только взвесь, в то время как количество растворенной органической материи соответствует количеству фитопланктона.

Табл. 1 – Оценки концентрации трех природных компонент в открытом океане и в районах морей на удалении от влияния берегов (отмечены кружками)

	Cp [мг/м ³]		ax [м ⁻¹]	ay [м ⁻¹]	as [м ⁻¹]
Расчет концентраций природных компонент по спектрам показателя вертикального ослабления света водой, измеренным в открытом океане (Пелевин и др., 1997; Pelevin, Rostovtseva, 2001)	0.52	○	0.018	0.0045	0.0135
	0.81	○	0.028	0.0067	0.023
	1.16	○	0.040	0.0093	0.033
	1.6	○	0.055	0.012	0.042
	2.0	○	0.069	0.0145	0.052
	2.3	○	0.079	0.017	0.061
	2.9	○	0.10	0.019	0.070
	3.6	○	0.12	0.021	0.079
	4.3	○	0.15	0.022	0.087
Оценки концентраций по измерениям КСЯ в районе Канарского апвеллинга при движении судна с севера на юг (Пелевин и др., 2000; Pelevin, Rostovtseva, 2000)	0.05		0.002	0.0008	0.004
	0.3	○	0.010	0.003	0.01
	1.0	○	0.035	0.008	0.03
Черное море у пос. Лазаревское при движении судна вдоль берега с пересечением плюма реки Псегуапсе (Гончаренко и др., 2020)	0.95	○	0.033	0.012	0.016
	1.73	(плюм)	0.060	0.03	0.215
	0.87	○	0.030	0.01	0.025
Черное море у пос. Архипо-Осиповка при движении судна от устья реки Вулан в сторону моря (Ростовцева, 2015, 2017б)	1.35	(устье)	0.047	0.012	0.14
	0.45	(0.7км)	0.017	0.007	0.06
	0.45	(1.5км)	0.016	0.007	0.05
	0.6	○ (2.2км)	0.021	0.008	0.015

ax [м⁻¹] – показатель поглощения света на 440 нм пигментами фитопланктона;

ay [м⁻¹] – показатель поглощения света органическим веществом на длине волны 500 нм;

as [м⁻¹] – показатель поглощения света взвесью в диапазоне 400–600 нм;

Cp [мг/м³] – концентрации пигментов фитопланктона в единицах мг/м³.

Табл. 2 – Измерения в прибрежных водах

	Cp [мг/м ³]		ax [м ⁻¹]	ay [м ⁻¹]	az [м ⁻¹]
Керченский пролив – разрез от западного берега к восточному и обратно незначительно южнее Крымского моста (03.09.19) (Ростовцева и др., 2023)	2.4	- западный берег	0.082	0.027	0.073
	2.1		0.072	0.027	0.054
	1.9		0.065	0.022	0.048
	1.7	- поворот у восточного берега	0.058	0.021	0.039
	1.5		0.052	0.016	0.033
	1.25		0.043	0.016	0.021
	1.3		0.044	0.017	0.026
	1.7		0.059	0.0155	0.034
	1.1		0.039	0.015	0.013
	1.0		0.034	0.0155	0.023
	1.0		0.034	0.019	0.027
	1.2		0.041	0.014	0.030
	1.9		0.066	0.0145	0.029
Керченский пролив – разрез южнее предыдущего от восточного берега к западному (04.09.19) (Ростовцева и др., 2022)	1.35	- восточный берег	0.047	0.029	0.052
	0.9		0.031	0.016	0.015
	1.6		0.055	0.036	0.072
	0.8		0.026	0.017	0.013
	1.05		0.036	0.023	0.012
	0.9		0.030	0.011	0.007
	0.8		0.027	0.015	0.013
	0.8		0.026	0.015	0.007
0.6	0.022	0.016	0.004		
Карское море – в Обской Губе (Rostovtseva et al., 2016) Карское море – севернее на траверсе Обской Губы	15.6		0.54	0.50	0.57
	3.1		0.11	0.47	0.03
	3.15		0.11	0.36	0.05
	1.4		0.05	0.47	0.07
	0.5		0.02	0.42	0.03
	1.75		0.06	0.32	0.06
Плюм реки Рио-Гранде, Бразилия (Ростовцева и др., 2017а)	62.4	- устье реки	2.16	0.45	2.67
	10.1	- обход	0.35	0.07	0.32
	30.9	по кругу	1.07	0.34	1.17
	27.1		0.94	0.23	1.01
	19.1		0.66	0.13	0.72
	8.1	- возврат	0.28	0.10	0.27
	6.1	к устью	0.21	0.06	0.16

При сравнении с плюмом реки Оби оказывается, что хотя концентрации органического вещества в обоих этих районах примерно одинаковы, они имеют разное происхождение: в плюме у берегов Бразилии это результат жизнедеятельности планктона в этой же акватории, в то время как у Обской Губы это вынос дополнительной органики рекой.

Обсуждение результатов

Предложенная обработка оценок концентраций природных компонент морской воды с использованием Диаграммы типов вод (ДТВ) показала возможность выделения в прибрежных районах вод, где наблюдается такое же соотношение между

содержанием фитопланктона, органического растворенного вещества и взвеси, как и в океанских водах вне зависимости от их трофности (для краткости назовем такое соотношение балансом). На ДТВ этот район обозначается кругом с центром (0.20, 0.36) и радиусом 0.14. Назовем воды, попадающие в этот круг, водами баланса – БВ (Balance Waters – BW). Оказалось, что воды Черного моря вдали от берега и плумов рек и воды Азовского моря близки к водам Мирового океана. В то же время при приближении к берегу, а также у устьев рек, наблюдается взмучивание вод, то есть преобладание взвешенных частиц чаще всего минерального происхождения (речная взвесь, донные осадки, пыль) над количеством, обеспеченным только жизнедеятельностью фитопланктона. Они располагаются в верхней части ДТВ под названием воды с экстра суспензией – ЭСВ (Extra Suspension Waters – ESW). В правой части ДТВ находятся воды, где преобладает растворенное органическое вещество, чаще всего обеспеченное выносом рек, как в Карском море, или перемешиванием с водами более продуктивных акваторий, как в Керченском проливе. Это воды с добавлением органики, не являющейся продуктом жизнедеятельности фитопланктона в данной акватории, – воды с экстра органикой – ЭОВ (Extra Organic Waters – EOW). При этом на ДТВ верхний правый угол представляет собой тип вод с преобладанием и взвеси, и органики.

Предложенный подход позволяет довольно просто выявить зоны с аномальным содержанием природных компонент, здесь важно, чтобы замеры концентрации осуществлялись всюду по одной и той же методике. Спектры поглощения света веществом являются наиболее стабильным маркером концентрации вещества и поэтому часто используются для ее оценки (Коновалов и др., 2014). Другим эффективным способом определения концентрации является возбуждение флюоресценции – однако этот метод оказался более чувствительным к составу и строению органических веществ. Так, в работе (Дроздова и др., 2022) было показано, что эффективность флюоресценции растворенной органики зависит от генезиса этой компоненты: при длине волны возбуждающего излучения 270 нм, максимум флюоресценции на 350 нм соответствует органическому веществу, являющемуся результатом микробиологической активности фитопланктона, в то время как на 450 нм флюоресцирует компонента терригенного происхождения. При этом оказалось, что флуоресцентный лидар, работающий на 355 нм возбуждения, фиксирует в большей степени РОВ терригенного происхождения. Эти исследования интересно продолжить в выявленных районах моря с экстра органикой ЭОВ для определения генезиса органического вещества.

В дальнейшем положение вод исследуемой акватории на ДТВ необходимо будет связывать с такими, например, явлениями, как наличие кокколитофоридных цветений (Vazyulya et al., 2023) или повышенной концентрацией метана (Izhitskaya et al., 2023). Применение предложенной методики к исследованию и сравнению акваторий вблизи плумов рек позволит выявить их основной вклад в состояние экосистем моря в этих районах. Важно, что при расположении точки, характеризующей тот или иной район, на ДТВ трофность вод, то есть продуктивность данного района моря, не играет основной роли – это позволяет сравнивать различные акватории по происходящим там процессам вне зависимости от их масштаба. Так, оказалось, что

малые реки Черного моря выносят в плюм в основном дополнительную взвесь, так же как и Рио-Гранде, а Обь приносит в свой плюм в основном дополнительное органическое вещество.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования РФ № FMWE-2024-0015 «Гидрофизические процессы, формирующие экологическое состояние внутренних и окраинных морей и прибрежной зоны океана».

Список литературы

1. Гончаренко И. В., Ростовцева В. В., Коновалов Б. В. Использование нового судового комплекса пассивного оптического зондирования для получения распределения естественных примесей в прибрежных водах // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11. № 3. С. 97–101. <https://doi.org/10.7868/S20736673180300127>.
2. Гончаренко И. В., Ростовцева В. В. Пассивное оптическое зондирование речных плюмов с борта судна с помощью гиростабилизированного комплекса ЭММА // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2020. Т. 13. № 2. С. 96–102. <https://doi.org/10.7868/S2073667320020124>.
3. Дроздова А. Н., Пелевин В. В., Крылов И. Н., Стрельцова Е. А., Коновалов Б. В. Растворенное органическое вещество поверхностного слоя воды Геленджикской бухты в сентябре 2021 года по данным флуориметрии и лидарных измерений // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 6. С. 878–886. <https://doi.org/10.31857/S003015742206003X>.
4. Зацепин А. Г., Завьялов П. О., Баранов В. И., Кременецкий В. В., Недоспасов А. А., Поярко С. Г., Очередник В. В. О ветровом механизме трансформации линзы опресненных речным стоком вод в Карском море // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 5–12. <https://doi.org/10.7868/S0030157417010221>.
5. Коновалов Б. В., Кравчишина М. Д., Беляев Н. А., Новигатский А. Н. Определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества по их спектральному поглощению // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 704–711. <https://doi.org/10.7868/S0030157414040066>.
6. Маккавеев П. Н., Стунжас П. А., Хлебопашев П. В. О выделении вод Оби и Енисея в распресненных линзах Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 740–747.
7. Маккавеев П. Н., Полухин А. А., Костылева А. В., Проценко Е. А., Степанова С. В., Якубов Ш. Х. Гидрохимические особенности акватории Карского моря летом 2015 г. // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 57–66. <https://doi.org/10.7868/S0030157417010087>.
8. Матюшенко В. А., Пелевин В. Н., Ростовцева В. В. Измерение коэффициента яркости моря трехканальным спектрофотометром с борта НИС // *Оптика атмосферы и океана*. 1996. Т. 9. № 5. С. 664–669.
9. *Осадчиев А. А. Речные плюмы*. М.: Научный мир, 2021. 288 с.
10. Пелевин В. Н., Ростовцева В. В. Оценка концентрации светопоглощающих и светорассеивающих веществ в различного типа водах открытого океана // *Оптика атмосферы и океана*. 1997. Т. 10. № 9. С. 989–995.
11. Пелевин В. Н., Попов А. К., Ростовцева В. В. О спектральной яркости моря вблизи Антарктиды и возможности дистанционного определения концентрации хлорофилла и «желтого вещества» // *Материалы VI Международной Научно-технической Конференции МСОИ*. Москва, 2000. С. 243–254.
12. Ростовцева В. В. Метод получения спектров поглощения морской воды по данным пассивного дистанционного зондирования с борта судна с использованием свойств чистой воды // *Оптика атмосферы и океана*. 2015. Т. 28. № 11. С. 1003–1011. <https://doi.org/10.15372/AOO20151107>.

13. Ростовцева В. В., Гончаренко И. В., Коновалов Б. В., Алюкаева А. Ф. Оперативная оценка состояния прибрежных морских акваторий по данным пассивного оптического зондирования поверхности воды с борта судна // Оптика атмосферы и океана. 2017а. Т. 30. № 12. С. 1017–1022. <https://doi.org/10.15372/AOO20171203>.
14. Ростовцева В. В., Коновалов Б. В., Гончаренко И. В., Хлебников Д. В. Способ оценки содержания примесей в морских водах с помощью оперативной спектрофотометрии // Океанология. 2017б. Т. 57. № 4. С. 560–574. <https://doi.org/10.7868/S0030157417040050>.
15. Ростовцева В. В., Ижицкий А. С., Коновалов Б. В. Определение характера смешения азовоморских и черноморских вод в Керченском проливе по данным комплексных дистанционных и контактных измерений // Океанологические исследования. 2022. № 50 (3). С. 70–87. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\).4](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3).4).
16. Ростовцева В. В., Ижицкий А. С., Коновалов Б. В. Оценка характеристик различного типа вод в Керченском проливе по результатам судовых дистанционных оптических измерений // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36. № 12. С. 998–1004. <https://doi.org/10.15372/AOO20231206>.
17. Чепыженко А. А., Чепыженко А. И., Кушнир В. М. Структура вод Керченского пролива по данным контактных измерений и космических съемок // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 56–64. <https://doi.org/10.7868/S0030157415010037>.
18. Bargu S., Justic D., White J. R., Lane R., Day J., Paerl H., Raynie R. Mississippi River diversions and phytoplankton dynamics in deltaic Gulf of Mexico estuaries: a review // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2019. Vol. 221. P. 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.020>.
19. Carmack E. C., Yamamoto-Kawai M., Haine T. W. N., Bacon S., Bluhm B. A., Lique C., Melling H., Polyakov I. V., Straneo F., Timmermans M.-L., Williams W. J. Freshwater and its role in the Arctic Marine System: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and global oceans // J. Geophys. Res. Biogeosci. 2016. Vol. 121. No. 3. P. 675–717. <https://doi.org/10.1002/2015JG003140>.
20. Dabuleviciene T., Kozlov I. E., Vaiciute D., Dailidienė I. Remote Sensing of Coastal Upwelling in the South-Eastern Baltic Sea: Statistical Properties and Implications for the Coastal Environment // Remote Sens. 2018. Vol. 10. No. 11. P. 1752. <https://doi.org/10.3390/rs10111752>.
21. Izhitskaya E. S., Egorov A. V., Zavialov P. O. Seasonal Variability of Dissolved Methane in the Shallow Coastal Zone: The Case Study of the Golubaya Bay, Northeastern Part of the Black Sea // J. Mar. Sci. Eng. 2023. Vol. 11. P. 2284. <https://doi.org/10.3390/jmse11122284>.
22. Korotenko K., Osadchiv A., Melnikov V. Mesoscale Eddy Chain Structures in the Black Sea and Their Interaction with River Plumes: Numerical Modeling and Satellite Observations // Remote Sens. 2023. Vol. 15. No. 6. P. 1606. <https://doi.org/10.3390/rs15061606>.
23. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Zatsepin A. G. Interannual variability of Danube waters propagation in summer period of 1992–2015 and its influence on the Black Sea ecosystem // Journal of Marine Systems. 2018. Vol. 179. P. 10–30. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.11.001>.
24. Morozov E. G., Frey D. I., Salyuk P. A., Budyansky M. V. Amazon River Plume in the Western Tropical North Atlantic // J. Mar. Sci. Eng. 2024. Vol. 12. P. 851. <https://doi.org/10.3390/jmse12060851>.
25. Pelevin V. N., Rostovtseva V. V. Estimation of “yellow substance” concentration in sea water by various contact and remote measurements data // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 4341. P. 459–465.
26. Pelevin V. N., Rostovtseva V. V. Modeling of bio-optical parameters of open ocean waters // Oceanology. 2001. Vol. 43. No. 4. P. 469–477.
27. Rostovtseva V., Goncharenko I., Khlebnikov D., Kononov B. Comparative characteristic of sea radiance coefficient spectra measured remotely in coastal waters of five seas // Materials of XXVI International Coastal Conference “Managing risks to coastal regions and communities in a changing world” (EMECs11-SeaCoastsXXVI Joint Conference) St Petersburg, Russia 2016. P. 1–9. https://doi.org/10.31519/conferencearticle_5b1b93a8ec4cb2.06463004.

28. *Vazyulya S., Deryagin D., Glukhovets D., Silkin V., Pautova L.* Regional Algorithm for Estimating High Coccolithophore Concentration in the Northeastern Part of the Black Sea // *Remote Sens.* 2023. Vol. 15. P. 2219. <https://doi.org/10.3390/rs15092219>.
29. *Zavialov I., Osadchiev A., Sedakov R., Barnier B., Molines J.-M., Belokopytov V.* Water exchange between the Sea of Azov and the Black Sea through the Kerch Strait // *Ocean Sci.* 2020. Vol. 16. P. 15–30. <https://doi.org/10.5194/os-16-15-2020>.

Статья поступила в редакцию 11.10.2024, одобрена к печати 19.02.2025.

Для цитирования: *Ростовцева В. В.* Сравнительный анализ типов прибрежных вод по данным пассивного оптического зондирования // *Океанологические исследования.* 2025. № 53 (1). С. 5–17. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(1\).1](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).1).

COMPARATIVE ANALYSIS OF COASTAL WATER TYPES BASED ON PASSIVE OPTICAL SENSING DATA

V. V. Rostovtseva

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: vera@ocean.ru*

To characterize and compare various coastal areas of the seas including river plumes and water mixing zones in straits a method for arranging them on a special diagram (Water Type Diagram) is proposed. It is possible to allocate here zones of waters similar in composition to oceanic waters as well as waters with extra suspended matter and/or extra dissolved organic matter. At the same time this diagram allows to compare processes in waters of different trophicity. The paper presents calculations based on passive optical sounding data obtained from board a ship for the open ocean, the Black Sea, the Kerch Strait, the Kara Sea, and the Rio Grande River plume off the Brazilian coast of the Atlantic Ocean.

Keywords: coastal sea waters, river plumes, passive optical remote sensing, spectral radiance coefficient of the sea, concentration of suspended matter, concentration of phytoplankton pigments, concentration of dissolved organic matter

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation No. FMWE-2024-0015 – Hydrophysical processes that shape the ecological state of inland and marginal seas and the coastal zone of the ocean.

References

1. Bargu, S., D. Justic., J. R. White, R. Lane, J. Day, H. Paerl, and R. Raynie, 2019: Mississippi River diversions and phytoplankton dynamics in deltaic Gulf of Mexico estuaries: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **221**, 39–52, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.020>.

2. Carmack, E. C., M. Yamamoto-Kawai, T. W. N. Haine, S. Bacon, B. A. Bluhm, C. Lique, H. Melling, I. V. Polyakov, F. Straneo, M. L. Timmermans, and W. J. Williams, 2016: Freshwater and its role in the Arctic Marine System: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and Global Oceans. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, **121** (3), 675–717, <https://doi.org/10.1002/2015JG003140>.
3. Chepyzhenko, A. A., A. I. Chepyzhenko, and V. M. Kushnir, 2015: Strait of Kerch Water Structure Derived from the Data of Contact Measurements and Satellite Imagery. *Oceanology*, **55** (1), 47–55, <https://doi.org/10.1134/S0001437015010038>.
4. Dabuleviciene, T., I. E. Kozlov, D. Vaiciute, and I. Dailidienė, 2018: Remote Sensing of Coastal Upwelling in the South-Eastern Baltic Sea: Statistical Properties and Implications for the Coastal Environment. *Remote Sens.*, **10** (11), 1752, <https://doi.org/10.3390/rs10111752>.
5. Drozdova, A. N., V. V. Pelevin, I. N. Krylov, E. A. Streltsova, and B. V. Konovalov, 2021: Dissolved Organic Matter of the Surface Water Layer of Gelendzhik Bay in September 2021. According to Fluorimetry and Lidar Measurements. *Oceanology*, **62**, 765–772 (2022), <https://doi.org/10.1134/S0001437022060030>.
6. Goncharenko, I. V., V. V. Rostovtseva, and B. V. Konovalov, 2018: Ispol'zovanie novogo sudovogo kompleksa passivnogo opticheskogo zondirovaniya dlya polucheniya raspredeleniya estestvennykh primesej v pribrezhnykh vodah (Using of new shipborne complex for passive optical remote sensing for obtaining distribution of natural admixtures in coastal waters). *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*, **11** (3), 97–101, <https://doi.org/10.7868/S20736673180300127>.
7. Goncharenko, I. V. and V. V. Rostovtseva, 2020: Passivnoe opticheskoe zondirovanie rechnykh plyumov s borta sudna s pomoshch'yu girostabilizirovannogo kompleksa EMMA (Passive optical sensing of river plumes from board of a vessel using gyro-stabilized complex EMMA). *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*, **13** (2), 96–102, <https://doi.org/10.7868/S2073667320020124>.
8. Izhitskaya, E. S., A. V. Egorov, and P. O. Zavialov, 2023: Seasonal Variability of Dissolved Methane in the Shallow Coastal Zone: The Case Study of the Golubaya Bay, Northeastern Part of the Black Sea. *J. Mar. Sci. Eng.*, **11** (12), 2284, <https://doi.org/10.3390/jmse11122284>.
9. Konovalov, B. V., M. D. Kravchishina, N. A. Belyaev, and A. N. Novigatsky, 2014: Determination of the Concentration of Mineral Particles and Suspended Organic Substance Based on Their Spectral Absorption. *Oceanology*, **54** (5), 660–667, <https://doi.org/10.1134/S0001437014040067>.
10. Korotenko, K., A. Osadchiev, and V. Melnikov, 2023: Mesoscale Eddy Chain Structures in the Black Sea and Their Interaction with River Plumes: Numerical Modeling and Satellite Observations. *Remote Sens.*, **15** (6), 1606, <https://doi.org/10.3390/rs15061606>.
11. Kubryakov, A. A., S. V. Stanichny, and A. G. Zatsepin, 2018: Interannual variability of Danube waters propagation in summer period of 1992–2015 and its influence on the Black Sea ecosystem. *Journal of Marine Systems*, **179**, 10–30, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.11.001>.
12. Makkaveev, P. N., A. A. Polukhin, A. V. Kostyleva, E. A. Protsenko, S. V. Stepanova, and Sh. Kh. Yakubov, 2017: Hydrochemical features of the Kara Sea aquatic area in summer 2015. *Oceanology*, **57** (1), 48–57, <https://doi.org/10.1134/S0001437017010088>.
13. Makkaveev, P. N., P. A. Stunzhas, and P. V. Khlebopashev, 2010: The Distinguishing of the Ob and Yenisei Waters in the Desalinated Lenses of the Kara Sea in 1993 and 2007. *Oceanology*, **50** (5), 698–705, <https://doi.org/10.1134/S0001437010050073>.
14. Matyushenko, V. A., V. N. Pelevin, and V. V. Rostovtseva, 1996: Measurement of the sea radiance coefficient with a three-channel spectrophotometer from aboard a research ship. *Atmospheric and Oceanic Optics*, **9** (5), 421–424.
15. Morozov, E. G., D. I. Frey, P. A. Salyuk, and M. V. Budyansky, 2024: Amazon River Plume in the Western Tropical North Atlantic. *J. Mar. Sci. Eng.*, **12**, 851, <https://doi.org/10.3390/jmse12060851>.
16. Osadchiev, A. A., 2021: *River Plumes*. Moscow, Scientific World, 288 p.
17. Pelevin, V. N. and V. V. Rostovtseva, 1997: Estimating the concentration of light scattering and absorbing substances in the ocean waters of different types. *Atmospheric and Oceanic Optics*, **10** (9), 617–623.

18. Pelevin, V. N., A. K. Popov, and V. V. Rostovtseva, 2000: O spektral'noj yarkosti morya vblizi Antarktidy i vozmozhnosti distancionnogo opredeleniya koncentracii hlorofilla i "zheltogo veshchestva" (On sea spectral radiance near Antarctica and possibility of remote determination of chlorophyll and "yellow substance" concentration). *Materials of the VI international conference MSOI-2000 (Modern methods and means of oceanological research)*, Moscow, 243–254.
19. Pelevin, V. N. and V. V. Rostovtseva, 2000: Estimation of "yellow substance" concentration in sea water by various contact and remote measurements data. *Proceedings of SPIE*, **4341**, 459–465.
20. Pelevin, V. N. and V. V. Rostovtseva, 2001: Modeling of bio-optical parameters of open ocean waters. *Oceanology*, **43** (4), 469–477.
21. Rostovtseva, V. V., A. S. Izhitskiy, and B. V. Konovalov, 2023: Ocenka harakteristik razlichnogo tipa vod v Kerchenskom prolive po rezul'tatam sudovyh distancionnyh opticheskikh izmerenij (Estimation of different water types in the Kerch Strait based on shipborne remote optical measurements). *Atmospheric and Oceanic Optics*, **36** (12), 998–1004, <https://doi.org/10.15372/AOO20231206>.
22. Rostovtseva, V. V., I. V. Goncharenko, B. V. Konovalov, and A. F. Alukaeva, 2018a: Rapid Estimation of the Ecological State of Coastal Water Areas Based on Shipboard Passive Remote Optical Sensing of the Water Surface. *Atmospheric and Oceanic Optics*, **31** (3), 225–231, <https://doi.org/10.1134/S1024856018030132>.
23. Rostovtseva, V., I. V. Goncharenko, D. Khlebnikov, and B. V. Konovalov, 2016: Comparative characteristic of sea radiance coefficient spectra measured remotely in coastal waters of five seas. *Materials of XXVI International Coastal Conference "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECSII-SeaCoastsXXVI Joint Conference)*, St Petersburg, Russia, 1–9, https://doi.org/10.31519/conferencearticle_5b1b93a8ec4cb2.06463004.
24. Rostovtseva, V. V., B. V. Konovalov, I. V. Goncharenko, and D. V. Khlebnikov, 2017b: Method for estimating admixture content in seawater using operative spectrophotometry. *Oceanology*, **57** (4), 505–519, <https://doi.org/10.1134/S0001437017040166>.
25. Rostovtseva, V. V., 2015: Method for sea water absorption estimation on the basis of shipboard passive remote sensing data and pure sea water properties. *Atmospheric and Oceanic Optics*, **29** (2), 162–170, <https://doi.org/10.15372/AOO20151107>.
26. Rostovtseva, V. V., A. S. Izhitskiy, and B. V. Konovalov, 2022: Opredelenie haraktera smesheniya azovomorskih i chernomorskih vod v Kerchenskom prolive po dannym kompleksnyh distancionnyh i kontaknyh izmerenij (Characterizing of Azov Sea and Black Sea water masses mixing in the Kerch strait using integrated remote and contact measurements). *Journal of oceanological research*, **50** (3), 70–87, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\)4](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3)4).
27. Vazyulya, S., D. Deryagin, D. Glukhovets, V. Silkin, and L. Pautova, 2023: Regional Algorithm for Estimating High Coccolithophore Concentration in the Northeastern Part of the Black Sea. *Remote Sens.*, **15**, 2219, <https://doi.org/10.3390/rs15092219>.
28. Zatselin, A. G., P. O. Zavialov, V. V. Kremenetskiy, A. A. Nedospasov, S. G. Poyarkov, V. I. Baranov, and V. V. Ocherednik, 2017: On the mechanism of wind induced transformation of a river runoff water lens in the Kara Sea. *Oceanology*, **57** (1), 1–7, <https://doi.org/10.1134/S0001437017010222>.
29. Zavialov, I., A. Osadchiv, R. Sedakov, B. Barnier, J. M. Molines, and V. Belokopytov, 2020: Water exchange between the Sea of Azov and the Black Sea through the Kerch Strait. *Ocean Science*, **16** (1), 15–30, <https://doi.org/10.5194/os-16-15-2020>.

Submitted 11.10.2024, accepted 19.02.2025.

For citation: Rostovtseva, V. V., 2025: Comparative analysis of coastal water types based on passive optical sensing data. *Journal of Oceanological Research*, **53** (1), 5–17, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(1\).1](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).1).