

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИАГРАММЫ ТИПА ВОД ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ В ВЕРХНЕМ ПРОСВЕЧИВАЕМОМ СОЛНЦЕМ СЛОЕ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

В. В. Ростовцева

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

Положение точек, полученных по данным о концентрации трех основных природных компонент морской воды, на Диаграмме Типа Вод позволило сделать выводы об автохтонных и аллохтонных процессах, преобладающих у восточного побережья Среднего Каспия в районе Актау. Сделанные выводы были подтверждены результатами комплексных исследований, включающих вертикальное зондирование вод на станциях.

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

Введение

В отличие от океанских вод прибрежные воды демонстрируют большое разнообразие типов, вызванное изменением концентраций природных компонент в десятки, а иногда и сотни раз. Наиболее удачной попыткой классификации их является разделение по форме спектров яркости выходящего из моря оптического излучения в дневное время (Spyrakos et al., 2018; Atwood et al., 2024). Такой подход связан, прежде всего, с развитием пассивных спутниковых наблюдений (Warren et al., 2019; Giannini et al., 2021; Salama et al., 2022). Однако при этом особенности процессов, происходящих в каждом конкретном случае, требуют дальнейшего изучения (Eleveld et al., 2017; Xue et al., 2019; Alikas et al., 2020). Вид и происхождение природных примесей в различных прибрежных регионах вызывает пристальный интерес. Так, в (Кравчишина и др., 2018) методами геохимии изучается распределение аллохтонного и автохтонного взвешенного вещества в водной толще, а в работе (Дроздова и др., 2022) методами лазерной флуорометрии выявляются районы моря с растворенной органикой естественного происхождения и районы, где наличие растворенной органики объясняется антропогенным воздействием. Предложенная в предыдущей работе (Ростовцева, 2025) схема разделения различных районов прибрежных вод по отношению концентрации

взвеси и органического вещества к концентрации живого фитопланктона и расположение этих районов на разработанной там же (Ростовцева, 2025) Диаграмме Типов Вод позволяет выделять акватории, где идут схожие процессы вне зависимости от трофности вод. При этом использование Диаграммы Типов Вод дает возможность оценить долю автохтонных и аллохтонных процессов в исследуемых районах, а также определить характер аллохтонных процессов в фотическом слое, то есть преобладание аллохтонной взвеси и/или аллохтонного растворенного органического вещества. Однако в предыдущем исследовании каждый район описывался несколькими характерными точками. Возникает вопрос, что может дать предложенный подход при подробном исследовании одной прибрежной акватории сложной структуры и подтверждаются ли сделанные выводы сопутствующими комплексными измерениями.

В настоящей работе предложенный метод используется при изучении процессов в Каспийском море. Сложный характер взаимодействия морских вод и вод суши в Каспийском море исследовался во многих работах (например, Кравчишина и др., 2018; Маккавеев и др., 2018; Хлебопашев и др., 2022). Данные, полученные в 2019 г. при работе в прибрежных водах восточного побережья Среднего Каспия в течение целого светового дня, с использованием научно-исследовательского судна (НИС), движущегося вдоль побережья от порта Актау на юг (Ростовцева и др., 2021), послужили основой для характеристики процессов в этой акватории по предложенной новой методике. Проведено сравнение результатов, полученных по данной методике, с результатами работы проточной системы на борту НИС и зондирования вод по глубине, дополненных пробами воды с поверхности.

Средства и методы

При движении от порта Актау на восточном побережье Среднего Каспия на юг НИС пересекал районы с рядом характерных особенностей (рисунок 1): выход из порта, движение вдоль побережья с участком залива воды в море через протоку из резервуара с более теплыми и солеными водами, а также области вокруг выдающегося в море мыса Песчаный. В течение дня были в непрерывном режиме проведены измерения температуры и солености поверхностных вод проточной системой, с борта судна работал комплекс пассивного оптического дистанционного зондирования вод ЭММА (Экологический Мониторинг Морских Акваторий) (Ростовцева и др., 2017), позволяющий оценивать концентрации трех основных природных компонент морской воды (Wozniak, Dera, 2007): концентрации взвеси, окрашенного органического вещества («желтого вещества») и пигментов хлорофилла. Кроме того были организованы 11 станций, где производился забор проб воды с поверхности для их дальнейшей фильтрации с целью подсчета концентрации минеральной и органической взвеси и определялась глубина видимости белого диска. На станциях 2–11 измерялось состояние вод по глубине с помощью погружаемого CTD-зонда со встроенными измерителями мутности и флуоресценции хлорофилла.

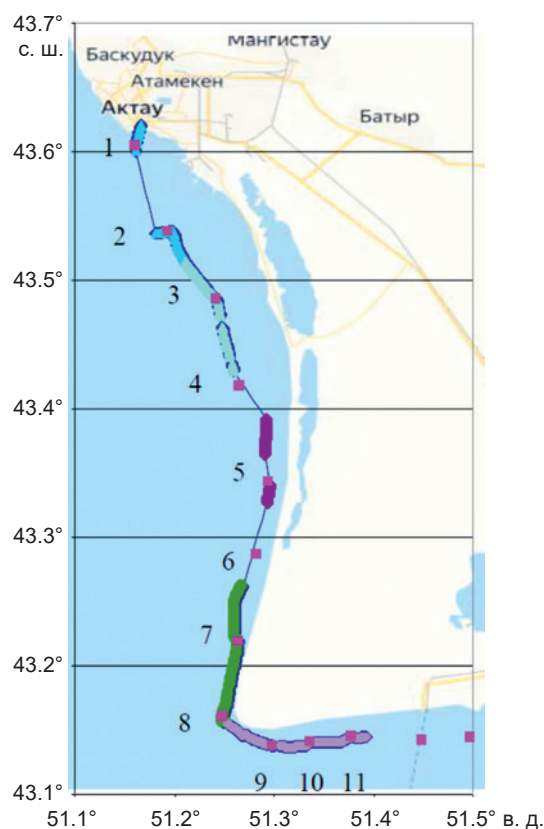


Рис. 1. – Маршрут проведения измерений с борта НИС у восточного побережья Среднего Каспия 27 июля 2019 г. Квадратами показаны станции для забора проб воды и вертикального зондирования. Цветом выделены участки работы гиперспектрометром ЭММА при движении судна

На выбранном участке побережья основными в данный период времени являлись два процесса – поверхностный заток воды из резервуара и апвеллинг, возникающий при наличии северо-западного ветра. Район интенсивного затока воды из резервуара был зафиксирован проточной системой (43.4° с. ш., 52.3° в. д.) по данным о повышении температуры и солености воды на поверхности (Ростовцева и др., 2021). Апвеллинг наблюдался, начиная со станции 4 по подъему холодных вод к поверхности (рисунок 2) – так, по измерениям, проведенным на станциях по глубине, видно, что, например, на уровне 5 метров температура со станции 4 до станции 5 сразу понижается более, чем на 5°C и далее колеблется около этого более холодного уровня.

Возникает вопрос, насколько эти основные процессы отражаются на результатах дистанционных измерений гиперспектрометром ЭММА. Для ответа на этот вопрос используем методику оценки типа вод, предложенную в (Ростовцева, 2025). Полученные выводы сравним с измерениями по глубине на станциях 2–11, а также с данными, полученными при анализе проб воды с поверхности.

Результаты обработки измерений гиперспектрометра ЭММА по методике (Ростовцева, 2015) являются основой для получения данных о типе вод в новой

классификации на ДТВ (Диаграмме Типа Вод). Трехканальный гиперспектрометр регистрирует каждую секунду одновременно три оптических спектра – спектр яркости моря, спектр яркости участка неба, отраженного от поверхности воды в направлении приемника, и спектр общей освещенности поверхности моря. По ним рассчитывается КСЯ моря (Коэффициент Спектральной Яркости), характеризующий поглощающие и рассеивающие свет свойства исследуемой акватории. Решение обратной задачи расчета показателей поглощения трех основных природных компонент по этому спектру КСЯ позволяет оценить их концентрацию в единицах поглощения (Ростовцева, 2015). Так, концентрация пигментов фитопланктона может быть получена в обратных метрах (м^{-1}) на длине волны 440 нм ($a_{\text{х440}}$), соответствующей максимуму поглощения света хлорофиллом фитопланктона в синей области спектра (пик поглощения хлорофилла в красной области на 680 нм не проявляется на спектре КСЯ, так как здесь резко возрастает поглощение света самой водой) (Pope, Fry, 1997). Поглощение света органическим веществом, как растворенным, так и детритом, имеет экспоненциальный характер (Wozniak, Dera, 2007) и оценивается на длине волны 500 нм ($a_{\text{у500}}$), что соответствует середине наиболее информативного диапазона 400–600 нм в спектре КСЯ. Поглощение взвешенным веществом на этом небольшом участке спектра считается постоянным ($a_{\text{в}}$). Таким образом, взвесь – это в основном минеральное вещество, плюс та часть органики в детрите, поглощение света которой не зависит от длины волны.

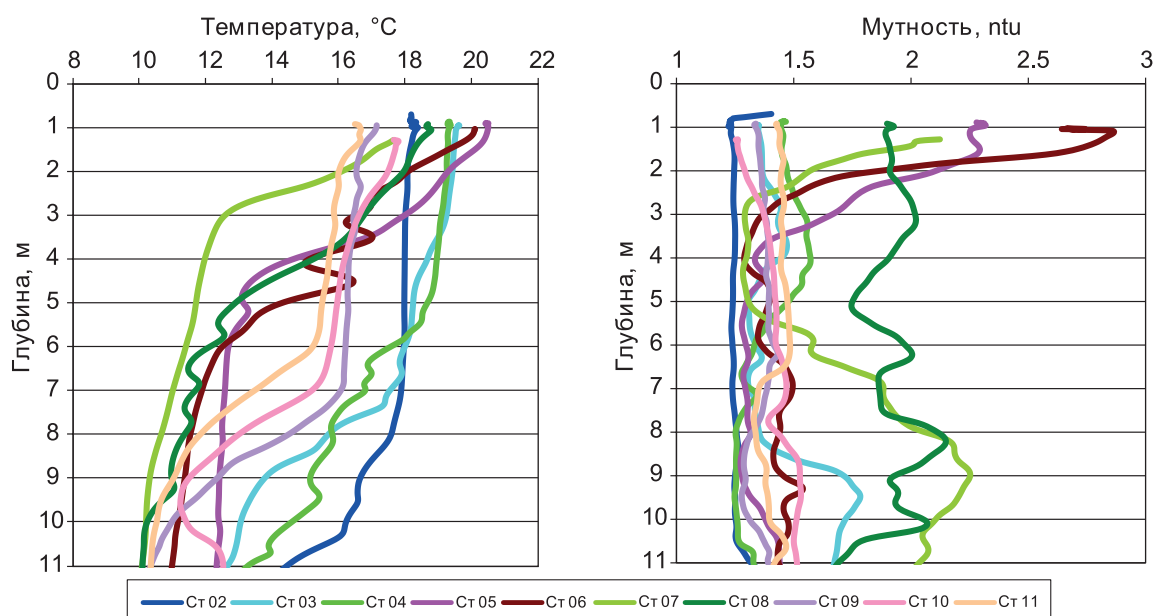


Рис. 2 – Профили температуры и мутности воды, измеренные на станциях за время светового дня

На рисунке 3 показаны оценки концентрации в единицах поглощения всех трех компонент морской воды, полученные гиперспектрометром ЭММА при движении судна по маршруту. Следует отметить, что полученные концентрации являются средними по слою воды, просвечиваемому солнцем и дающему основной вклад в спектр

яркости моря гиперспектрометра. Они, таким образом, являются оценкой концентрации компонент в фотическом слое в данной акватории.

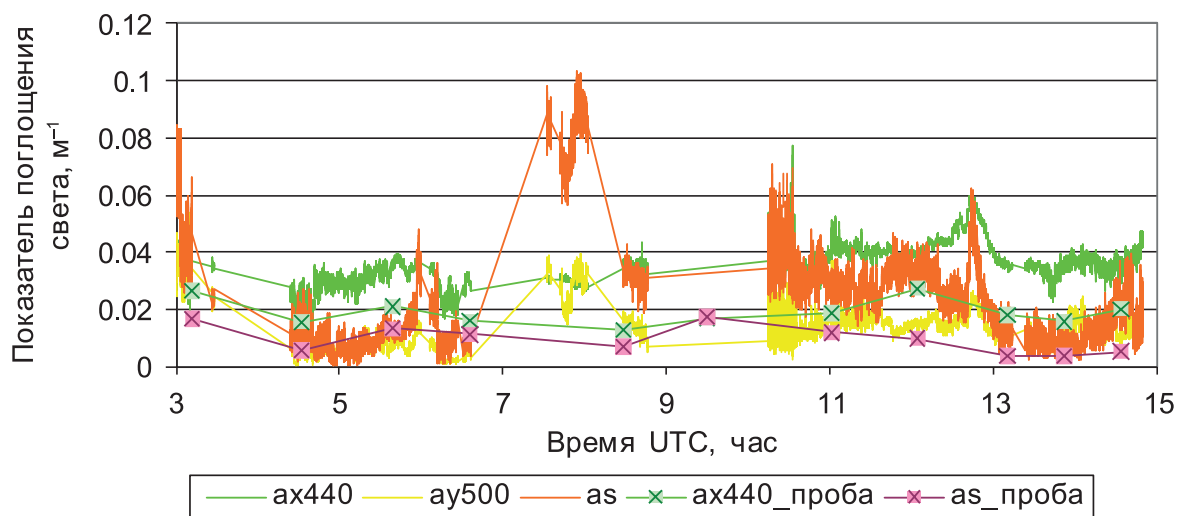


Рис. 3 – Концентрации трех основных природных компонент в морской воде по данным гиперспектрального сканера ЭММА и концентрации, полученные на пробах с поверхности воды

Взятые на станциях пробы воды с поверхности фильтруются, и далее фильтры обрабатываются спектрофотометром с целью оценки показателей поглощения света взвесью и пигментами фитопланктона: поглощение минеральной взвесью оценивается на 750 нм, поглощение пигментами фитопланктона пересчитываются к 440 нм (Коновалов и др., 2014). Эти данные также нанесены на график в соответствии с временем проведения каждой станции. Видно, что, как и в просвечиваемом солнечным светом слое воды, так и в поверхностном слое, концентрации трех основных природных компонент существенно меняются.

Для того, чтобы выяснить, являются ли эти изменения следствием только меняющихся условий для жизнедеятельности фитопланктона, определим тип вод по предложенной в (Ростовцева, 2025) методике. Для определения типа вод рассчитаем величины, характеризующие соотношение между концентрациями в единицах поглощения света органического вещества $ay500$, и пигментами фитопланктона $ax440$ ($ay500/(ay500+ax440)$) и соотношение между концентрациями взвеси as и пигментами фитопланктона $ax440$ ($as/(as+ax440)$) для каждого измерения и нанесем их на ДТВ (рисунок 4). По оси абсцисс получим долю органического вещества в сумме показателей поглощения органического вещества и пигментов, а по оси ординат – долю взвешенного вещества в сумме показателей поглощения взвеси и пигментов фитопланктона. В работе (Ростовцева, 2025) нами были проанализированы данные, полученные в открытых водах Мирового океана, и выявлена соответствующая им область на ДТВ, обозначенная кругом (БВ – балансные воды). Попадание вод акватории в этот круг означает, что здесь идут процессы, аналогичные тем, что происходят в открытых водах, где общее содержание взвеси и органического вещества определяется только концентрацией фитопланктона. Область ДТВ со значениями доли

органического вещества, превышающими значения в области БВ, назовем областью вод с экстра-органикой (ЭОВ), а область ДТВ, где наблюдается превышение доли суспензии, наблюдаемой в области БВ, назовем областью вод с экстра-суспензией (ЭСВ). Там, где превышены оба значения, получим область с экстра-органикой + суспензией (ЭОСВ) (рисунок 4).

Разобьем маршрут на пять участков так, чтобы в каждом было по 1–3 станции. Полученные значения разным цветом нанесем на ДТВ, где окружностью отмечена зона вод, соответствующая соотношению концентраций компонент, близкому к океанским водам (зона Балансных Вод). Для понимания того, как перемещается судно, треугольниками обозначены усредненные за минуту значения, полученные при работе гиперспектрального ЭММА на соответствующей станции или в наиболее характерных точках между станциями (рисунок 4).

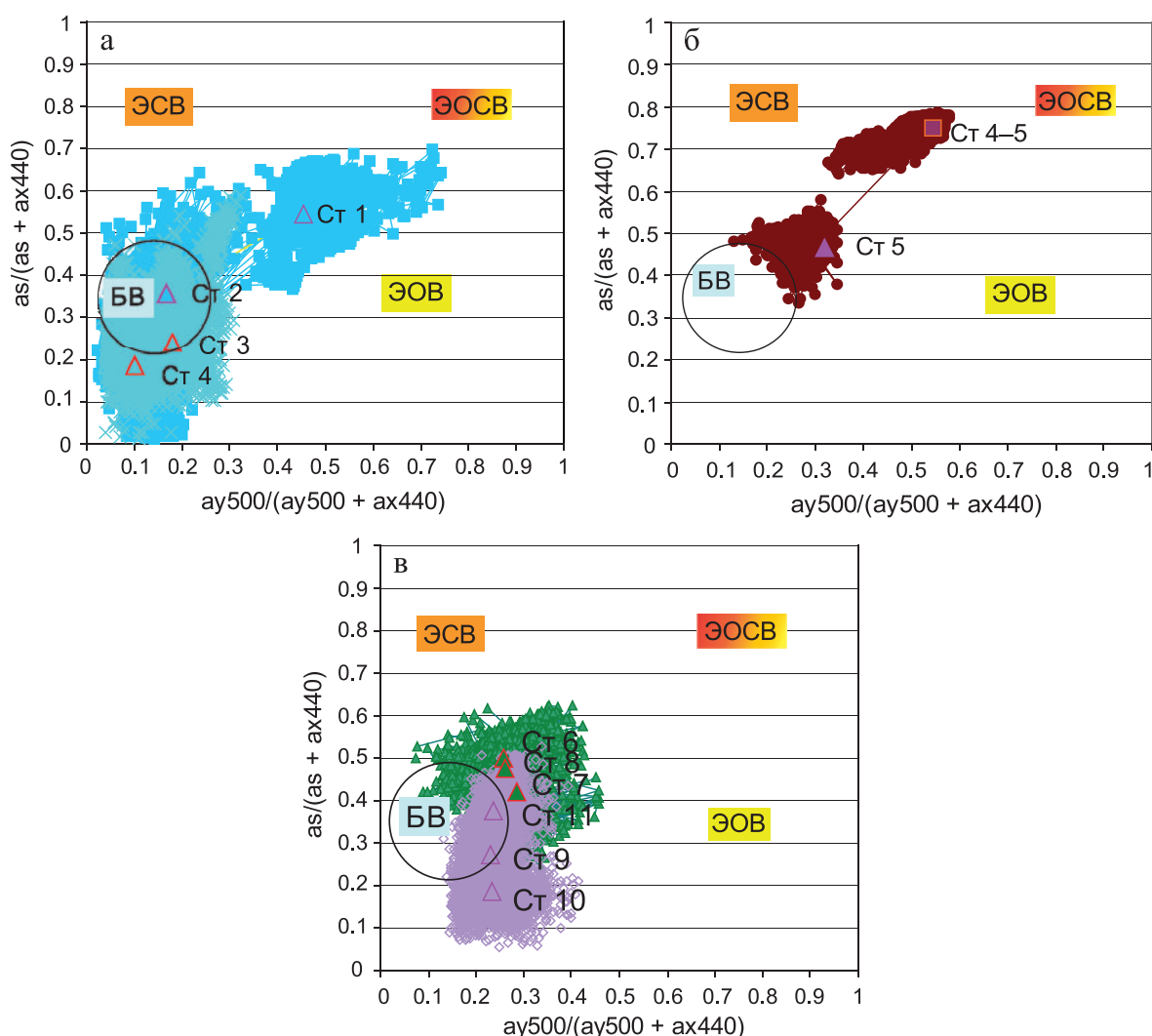


Рис. 4 – Расположение точек на ДТВ по маршруту движения НИС, рассчитанное по данным гиперспектрального ЭММА (цвета маркировки соответствуют рисунку 1).

Зоны на ДТВ: БВ – воды баланса; ЭСВ – воды с экстра-суспензией;
ЭОВ – воды с экстра-органикой; ЭОСВ – воды с экстра-органикой + суспензией

Сравнение с данными, полученными в пробах на станциях, можно провести только по одной координате, так как здесь нет информации о концентрации растворенного органического вещества. Результат показан на рисунке 5.

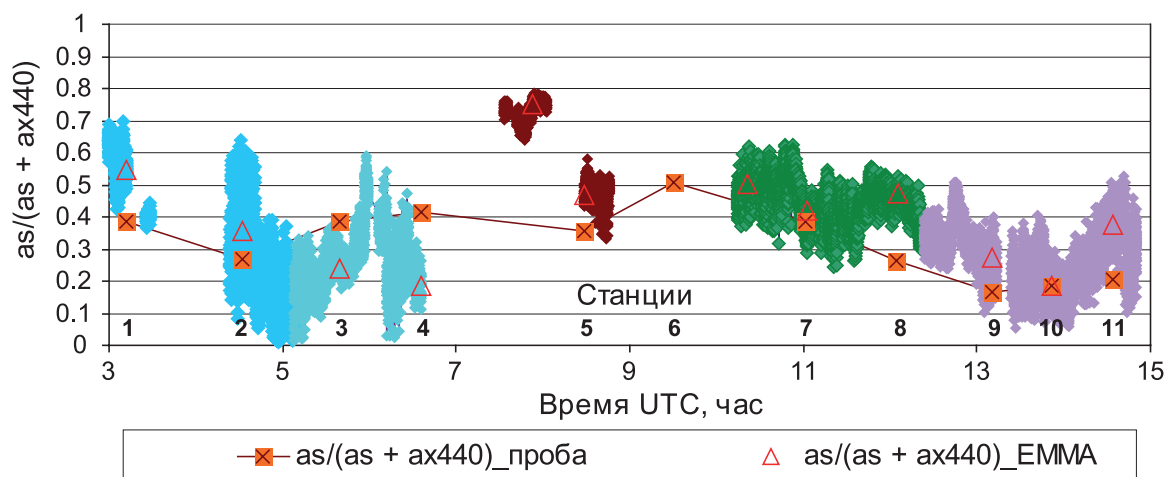


Рис. 5 – Сравнение типа вод в поверхностных пробах с данными по просвечиваемому солнцем слою воды по маршруту движения НИС

Обсуждение результатов

Использование ДТВ позволяет получить новую информацию о составе воды при появлении разных факторов воздействия на акваторию. На рисунке 4а видно, что в акватории порта Актау воды отличаются от океанских вод – сюда дополнительно поступают и взвесь, и органическое вещество, не связанные с жизнедеятельностью фитопланктона (зона ЭОСВ). Однако, при перемещении судна вдоль берега к станции 2, воды приближаются к балансным, то есть количество фитопланктона здесь определяет и количество органического вещества, и количество взвеси (зона БВ).

При движении к станциям 3 и 4 в целом сохраняется тот же тип вод за исключением небольшого участка с преобладанием взвеси. Сравнение состояния вод у поверхности со средним по глубине освещенным слоем позволяет сделать вывод, что на станциях 1 и 2 в приповерхностных пробах воды наблюдается меньшее количество взвеси и фитопланктона (рисунок 3), при этом в глубинном слое наблюдается избыток взвеси, то есть появляется аллохтонная добавка к естественной взвеси (рисунок 5); скорее всего, аллохтонная взвесь оседает из промежуточного слоя на глубине 1 м (см. распределение мутности слоя по глубине на станции 2 на рисунке 2). На станциях 3 и 4 в пробах сильно увеличена концентрация взвеси и практически нарушен баланс с количеством фитопланктона, однако очевидно, что это происходит только в тонком поверхностном слое из-за проникновения более соленой и теплой воды из резервуара между станциями 4 и 6. Данные гиперспектрометра ЭММА по оценке концентрации компонент в фотическом слое показывают, что при подходе к станции 3 воды приближаются к сбалансированным и отличаются от вод на поверхности, между станциями

3 и 4 идет процесс активного перемешивания поверхностных и глубинных вод. Мутность на горизонтах 3–5 метров растет по сравнению со станцией 2, и значения $as/(as+ax440)$ достигают практически тех же величин, что и на поверхности, но к станции 4 снова уменьшаются (рисунок 5) благодаря притоку холодной, прозрачной и богатой биогенами воды на горизонтах 5–8 метров (рисунок 2).

Между станциями 4 и 5 (рисунок 4б) в районе выброса вод из резервуара в море происходит резкое увеличение количества органики и взвеси по сравнению с количеством фитопланктона. Далее этот плюм расширяется и распространяется в основном в южном направлении (рисунок 4б, в) до станции 8 по маршруту. Глубина видимости белого диска из-за этого плюма здесь уменьшается с 10 м до 5–6 м, однако, благодаря апвеллингу, концентрация фитопланктона несколько увеличивается. На ДТВ зоны с 5 по 8 станцию сохраняют свое положение в зоне с экстра-органикой и экстра-взвесью (ЭОСВ), переходящей в зону с экстра-органикой (ЭОВ), непосредственно примыкающей к зоне баланса (БВ). На поверхности на этом участке наблюдаются фактически те же значения, что и вдоль глубины до 6 метров (рисунок 5), – здесь из двух конкурирующих процессов – распространения внешнего плюма и апвеллинга (рисунок 2) – наибольшее влияние на тип вод оказывает плюм.

При повороте за мыс Песчаный влияние смещения с водами из резервуара резко прекращается, так как мыс экранирует плюм, а апвеллинг продолжает поддерживать увеличение концентрации фитопланктона. На ДТВ (рисунок 4в), как и следовало ожидать, наблюдается смещение зоны для точек со станции 8 до станции 11 к области балансных вод. Поверхностные воды также демонстрируют свойства балансных вод.

Таким образом, применение методики оценки положения точек на ДТВ позволило выделить по маршруту движения зоны влияния на состав воды трех различных факторов. Влияние вод порта сказывается в районе станции 1, но далее резко прекращается к станции 2 – здесь характер вод близок к водам открытого океана. При движении к станциям 3 и 4 проявляется влияние смещения с водами из резервуара, проникающими с поверхности. Далее, начиная с участка между станциями 4 и 5 и до станции 8 у мыса Песчаный, взаимодействуют два фактора – распространение плюма из резервуара и увеличение концентрации фитопланктона в результате апвеллинга. За поворотом (станции 9–11) остается только второй фактор, что ведет, как видно на ДТВ, к приближению типа вод к балансным, то есть к водам близким к открытому океану. Сравнение с результатами на пробах дает возможность делать заключения о различии приповерхностного слоя и слоя, просвечиваемого солнцем, по всему маршруту. Использование схемы с ДТВ позволяет не только выделить участки с преобладанием вод, содержащих аллохтонные примеси, но и указать на тип этих примесей – взвешенные вещества и/или органические вещества.

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». Автор также выражает благодарность сотрудникам ИО РАН Завьялову П. О., Гончаренко И. В., Грабовскому А. Б., Ижицкому А. С. и Коновалову Б. В., проводившим измерения в Каспийском море.

Список литературы

1. 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. EDN: QHAXHJ. <https://doi.org/10.31857/S003015742206003X>
2. 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. 704–713. EDN: STHKPZ. <https://doi.org/10.7868/S0030157414040066>
3. Кравчишина М. Д., Ключиткин А. А., Лукашин В. Н., Политова Н. В., Новигатский А. Н., Лисицын А. П. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 96–107. EDN: VKOWLE. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068373918100096>
4. Маккавеев П. Н., Гордеев В. В., Завьялов П. О., Курбаниязов А. К. Гидрохимические и гидрологические условия в нижнем течении реки Урал и приустьевой области Каспийского моря в начале половодья // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 108–116. EDN: MGBBRR
5. Ростовцева В. В. Сравнительный анализ типов прибрежных вод по данным пассивного оптического зондирования // Океанологические исследования. 2025. Т. 53. № 1. С. 5–17. EDN: AFJRQL. [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)
6. Ростовцева В. В., Ижицкий А. С., Гончаренко И. В., Коновалов Б. В., Завьялов П. О. О влиянии гидрофизических условий на репрезентативность гидрооптических измерений на примере прибрежных районов Среднего Каспия // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34. № 9. С. 696–704. EDN: XRILUC. <https://doi.org/10.15372/AOO20210905>
7. 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 атмосф. и океана. 2017. Т. 30. № 12. С. 1017–1022. EDN: ZXLZPP. <https://doi.org/10.15372/AOO20171203>
8. 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. EDN: UOHSNR. <https://doi.org/10.15372/AOO20151107>
9. Хлебопашев П. В., Полухин А. А., Литвинов К. В., Борисенко Г. В., Буханов М. В., Грабовский А. Б., Завьялов П. О., Калинина О. Ю., Костылева А. В., Кременецкий В. В., Селиверстова А. М., Степанова С. В. Экспедиционные исследования современного состояния экосистемы авандельты р. Волги в период половодья // Океанология. 2022. Т. 62. № 5. С. 838–840. EDN: KLWILV. <https://doi.org/10.31857/S0030157422050069>
10. Alikas K., Ansko I., Vabson V., Ansper A., Kangro K., Uudeberg K., Ligi M. Consistency of radiometric satellite data over lakes and coastal waters with local field measurements // Remote Sens. 2020. Vol. 12. No. 4. P. 616. EDN: BSZQXX. <https://doi.org/10.3390/rs12040616>
11. Atwood E. C., Jackson T., Laurenson A., Jönsson B. F., Spyraeos E., Jiang D., Sent G., Selmes N., Simis S., Danne O. Framework for Regional to Global Extension of Optical Water Types for Remote Sensing of Optically Complex Transitional Water Bodies // Remote Sens. 2024. Vol. 16. No. 17. P. 3267. EDN: WZMARH. <https://doi.org/10.3390/rs16173267>
12. Eleveld M. A., Ruescas A. B., Hommersom A., Moore T. S., Peters S. W. M., Brockmann C. An optical classification tool for global lake waters // Remote Sens. 2017. Vol. 9. No. 5. P. 420–444. <https://doi.org/10.3390/rs9050420>

13. *Giannini F., Hunt B. P. V., Jacoby D., Costa M.* Performance of OLCI Sentinel-3A Satellite in the Northeast Pacific Coastal Waters // *Remote Sens. Environ.* 2021. Vol. 256. P. 112317. EDN: IDMMIC. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112317>
14. *Pope R. M., Fry E. S.* Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. Integrating cavity measurements // *Appl. Opt.* 1997. Vol. 36. Iss. 33. P. 8710–8723. <https://doi.org/10.1364/AO.36.008710>
15. *Salama M. S., Spaias L., Poser K., Peters S., Laanen M.* Validation of Sentinel-2 (MSI) and Sentinel-3 (OLCI) Water Quality Products in Turbid Estuaries Using Fixed Monitoring Stations // *Front. Remote Sens.* 2022. Vol. 2. P. 808287. EDN: SSIRSN. <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.808287>
16. *Spyrakos E., O'Donnell R., Hunter P. D., Miller C., Scott M., Simis S. G. H., Neil C., Barbosa C. C. F., Binding C. E., Bradt S.* Optical Types of Inland and Coastal Waters // *Limnol. Oceanogr.* 2018. Vol. 63. No. 2. P. 846–870. EDN: YFTMQH. <https://doi.org/10.1002/lno.10674>
17. *Warren M. A., Simis S. G. H., Martinez-Vicente V., Poser K., Bresciani M., Alikas K., Spyrakos E., Giardino C., Ansper A.* Assessment of Atmospheric Correction Algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over Coastal and Inland Waters // *Remote Sens. Environ.* 2019. Vol. 225. P. 267–289. EDN: WZJTIO. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.018>
18. *Wozniak B., Dera J.* Light Absorption in Sea Water // New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2007. 453 p. EDN: YCTTSV. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-49560-6>
19. *Xue K., Ma R., Wang D., Shen M.* Optical Classification of the Remote Sensing Reflectance and Its Application in Deriving the Specific Phytoplankton Absorption in Optically Complex Lakes // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. No. 2. P. 184. <https://doi.org/10.3390/rs11020184>

Статья поступила в редакцию 18.09.2025, одобрена к печати 19.11.2025.

Для цитирования: Ростовцева В. В. Использование Диаграммы Типа Вод для характеристики процессов в верхнем просвечиваемом солнцем слое воды на примере комплексных исследований в Каспийском море. 2025. Т. 53. № 4. С. 45–57. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).3](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).3)

USING WATER TYPE DIAGRAM TO CHARACTERIZE PROCESSES IN THE UPPER SUN-LIT WATER LAYER FOR THE COMPLEX RESEARCH IN THE CASPIAN SEA AS AN EXAMPLE

V. V. Rostovtseva

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

The position of the points obtained from the data of the concentration of the three sea water main natural components on the Water Type Diagram allowed us to draw conclusions about the autochthonous and allochthonous processes prevailing off the eastern coast of the Middle Caspian in the Aktau region. The conclusions drawn were confirmed by the results of complex studies from the r/v, including vertical sounding of waters at the stations.

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

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”. The author also expresses gratitude to the employees of IO RAS Zavyalov P. O., Goncharenko I. V., Grabovsky A. B., Izhitsky A. S. and Konovalov B. V. who carried out measurements in the Caspian Sea.

References

1. Alikas, K., I. Ansko, V. Vabson, A. Ansper, K. Kangro, K. Uudeberg, and M. Ligi, 2020: Consistency of radiometric satellite data over lakes and coastal waters with local field measurements. *Remote Sens.*, **12** (4), 616, EDN: BSZQXX, <https://doi.org/10.3390/rs12040616>
2. Atwood, E. C., T. Jackson, A. Laurenson, B. F. Jönsson, E. Spyarakos, D. Jiang, G. Sent, N. Selmes, S. Simis, and O. Danne, 2024: Framework for Regional to Global Extension of Optical Water Types for Remote Sensing of Optically Complex Transitional Water Bodies. *Remote Sens.*, **16** (17), 3267, EDN: WZMARH, <https://doi.org/10.3390/rs16173267>
3. Drozdova, A. N., V. V. Pelevin, I. N. Krylov, E. A. Streltsova, and B. V. Konovalov, 2022: Dissolved Organic Matter of the Surface Water Layer of Gelendzhik Bay in September 2021 according to Fluorimetry and Lidar Measurements. *Oceanology*, **62** (6), 765–772, EDN: YEDOOX, <https://doi.org/10.1134/S0001437022060030>
4. Eleveld, M. A., A. B. Ruescas, A. Hommersom, T. S. Moore, S. W. M. Peters, and C. Brockmann, 2017: An optical classification tool for global lake waters. *Remote Sens.*, **9** (5), 420–444, <https://doi.org/10.3390/rs9050420>
5. Giannini, F., B. P. V. Hunt, D. Jacoby, and M. Costa, 2021: Performance of OLCI Sentinel-3A Satellite in the Northeast Pacific Coastal Waters. *Remote Sens. Environ.*, **256**, 112317, EDN: IDMMIC, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112317>

6. Khlebopashev, P. V., A. A. Polukhin, K. V. Litvinov, G. V. Borisenko, M. V. Bukhanov, A. B. Grabovsky, P. O. Zavyalov, O. Yu. Kalinina, A. V. Kostyleva, V. V. Kremenetskiy, A. M. Seliverstova, and S. V. Stepanova, 2022: Expeditionary Studies of the Current State of the Volga River Avandelta Ecosystem during the Flow Period. *Oceanology*, **62** (5), 733–734, EDN: LUYREM, <https://doi.org/10.1134/s000143702205006x>
7. 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, EDN: UFGGAH, <https://doi.org/10.1134/S0001437014040067>
8. Kravchishina, M. D., A. A. Klyuvitkin, V. N. Lukashin, N. V. Politova, A. N. Novigatsky, and A. P. Lisitsyn, 2018: Distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea. *Russian Meteorology and Hydrology*, **43** (10), 697–705, EDN: HUOHYF, <https://doi.org/10.3103/S1068373918100096>
9. Makkaveev, P. N., V. V. Gordeev, P. O. Zavialov, and A. K. Kurbaniyazov, 2018: Hydrochemical and Hydrological Conditions in the Ural River Lower Reachers and in the Caspian Sea Mouth Region at the Beginning of the Spring Flood. *Russian Meteorology and Hydrology*, **43** (10), 706–712, EDN: JNZFAS, <https://doi.org/10.3103/S1068373918100102>
10. Pope, R. M. and E. S. Fry, 1997: Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, **36** (33), 8710–8723, <https://doi.org/10.1364/AO.36.008710>
11. Rostovtseva, V. V., 2016: 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, EDN: WUJCRJ, <https://doi.org/10.1134/S102485601602010X>
12. Rostovtseva, V. V., I. V. Goncharenko, B. V. Konovalov, and A. F. Alukaeva, 2018: 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, EDN: MANUDB, <https://doi.org/10.1134/S1024856018030132>
13. Rostovtseva, V. V., A. S. Izhitskiy, I. V. Goncharenko, B. V. Konovalov, and P. O. Zavialov, 2021: On the Influence of Hydrophysical Conditions on Representativeness of Hydrooptical Measurements for Coastal Regions of the Middle Caspian Sea as an Example. *Atmospheric and Oceanic Optics*, **34** (6), 649–657, EDN: MHZWYN, <https://doi.org/10.1134/S1024856021060208>
14. Rostovtseva, V. V., 2025: Comparative analysis of coastal water types based on passive optical sensing data. *Journal of Oceanological Research*, **53** (1), 5–17, EDN: AFJRQL, [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)
15. Salama, M. S., L. Spaias, K. Poser, S. Peters, and M. Laanen, 2022: Validation of Sentinel-2 (MSI) and Sentinel-3 (OLCI) Water Quality Products in Turbid Estuaries Using Fixed Monitoring Stations. *Front. Remote Sens.*, **2**, 808287, EDN: SSIRSN, <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.808287>
16. Spyarakos, E., R. O'Donnell, P. D. Hunter, C. Miller, M. Scott, S. G. H. Simis, C. Neil, C. C. F. Barbosa, C. E. Binding, and S. Bradt, 2018: Optical Types of Inland and Coastal Waters. *Limnol. Oceanogr.*, **63** (2), 846–870, EDN: YFTMQH, <https://doi.org/10.1002/lno.10674>
17. Warren, M. A., S. G. H. Simis, V. Martinez-Vicente, K. Poser, M. Bresciani, K. Alikas, E. Spyarakos, C. Giardino, and A. Ansper, 2019: Assessment of Atmospheric Correction Algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over Coastal and Inland Waters. *Remote Sens. Environ.*, **225**, 267–289, EDN: WZJTIO, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.018>
18. Wozniak, B. and J. Dera, 2007: *Light Absorption in Sea Water*. New York: Springer Science+Business Media, LLC. 453 p., EDN: YCTTSV, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-49560-6>

19. Xue, K., R. Ma, D. Wang, and M. Shen, 2019: Optical Classification of the Remote Sensing Reflectance and Its Application in Deriving the Specific Phytoplankton Absorption in Optically Complex Lakes. *Remote Sens.*, **11** (2), 184, <https://doi.org/10.3390/rs11020184>

Submitted 18.09.2025, accepted 19.11.2025.

For citation: Rostovtseva, V. V., 2025: Using Water Type Diagram to characterize processes in the upper sun-lit water layer for the complex research in the Caspian Sea as an example. *Journal of Oceanological Research*, **53** (4), 45–57, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).3](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).3)

基于里海综合考察的水型图在上层透光带过程特征分析中的应用

V. V. Rostovtseva

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编: 117997, Russia,
电子邮件: vera@ocean.ru*

通过对水型图中海水三种主要天然成分浓度数据所对应的点位进行分析，我们得以推断出中里海海东岸阿克套附近地区普遍存在的本地过程与外部输入过程。这些结论得到了综合科考船测站垂直剖面测量结果的证实。

关键词： 近岸海域，被动光学测深，海水光谱辐射系数，悬浮颗粒物浓度，浮游植物色素浓度，溶解有机物浓度，外来杂质

致谢： 本研究由俄罗斯联邦科学与高等教育部国家任务项目FMWE-2024-0015资助，项目名称为《影响内陆海、边缘海和海洋沿岸带生态状况的水物理过程》。作者感谢俄罗斯科学院希尔绍夫海洋研究所 (IO RAS) 的 P. O. Zavyalov、I. V. Goncharenko、A. B. Grabovsky、A. S. Izhitsky 和 B. V. Kononov 在里海进行的现场测量工作。