

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.463

О влиянии гидрофизических условий на репрезентативность гидрооптических измерений на примере прибрежных районов Среднего Каспия

В.В. Ростовцева, А.С. Ижицкий, **И.В. Гончаренко**,
Б.В. Коновалов, П.О. Завьялов*

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36*

Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

Дистанционные пассивные оптические измерения состояния вод исследуемых акваторий с борта судна, воздушного носителя или спутника являются наиболее информативными из-за охвата большой территории и высокой частоты проведения измерений. В то же время для корректной оценки полученных данных необходимо проводить измерения состояния вод *in situ* путем анализа проб воды, взятых в ограниченном количестве точек.

На примере исследований, проведенных в прибрежных районах Среднего Каспия, выявлены условия пригодности таких точечных измерений для калибровки результатов дистанционных гидрооптических измерений комплексом ЭММА с борта движущегося судна. Объяснение выявленных ограничений дано по результатам анализа структуры прибрежных вод, полученной при вертикальном зондировании вод на станциях, и работы проточной системы измерения температуры и солености поверхностных вод. Предложен алгоритм выбора проб воды, пригодных для калибровки дистанционных измерений, путем соотношения их с величиной глубины видимости диска Секки, и продемонстрирована эффективность этого метода. Показано, какие гидрофизические условия должны быть приняты во внимание при предварительном выборе мест отбора проб воды для калибровки дистанционных измерений.

Ключевые слова: оптическое пассивное дистанционное зондирование, природные компоненты морской воды, взвесь, фитопланктон и окрашенное органическое вещество, глубина видимости диска Секки, вертикальные профили температуры, солености и мутности воды, отбор и анализ проб воды; optical passive remote sensing, natural components of seawater, suspended matter, phytoplankton and colored organic matter, Secchi disk depth of visibility, vertical profiles of water temperature, salinity and turbidity, water sampling.

Введение

В настоящее время наиболее информативными методами оценки состава вод прибрежных и внутренних морей являются спутниковые методы пассивного оптического зондирования. Они обладают высоким пространственным и временным разрешением и позволяют охватить большие по площади акватории. Однако им присущи и недостатки; один из главных — необходимость решения обратной задачи определения концентраций присутствующих в воде компонентов по характеристикам восходящего от моря излучения [1–3]. При обработке спутниковых данных используется целый ряд алгоритмов решения этой задачи, основанных на оптических свойствах различных типов вод, многие из которых являются сугубо региональными [4–7].

При этом для верификации результатов в каждой новой акватории или при каждом изменении состояния вод в районе исследований (например, при увеличении стока рек в весенний период или изменении ветровой обстановки с возникновением апвеллингов и даунвеллингов) необходимы подспутниковые измерения [8–11]. Такие измерения проводятся, как правило, путем отбора и анализа проб воды с поверхности и требуют много усилий; их проводится не так много. При этом наблюдается сильный разброс между данными со спутников и результатами подспутниковых измерений, что затрудняет калибровку данных. Причинами такого разброса служат условия проведения и обработки измерений. Во-первых, на полученный результат влияет выбранный метод атмосферной коррекции [1, 2, 12]. Во-вторых, спутниковые данные есть результат усреднения сигнала по большой площади и при неравномерном распределении исследуемых компонент по ней отклонение оценки, полученной в одной точке, может быть существенным. Избежать погрешностей, вызванных этими причинами, можно путем проведения оптических измерений непосредственно

* Вера Владимировна Ростовцева (vera@ocean.ru); Александр Сергеевич Ижицкий (izh@ocean.ru); Игорь Владимирович Гончаренко; Борис Васильевич Коновалов (bykonovalov@yandex.ru); Петр Олегович Завьялов (peter@ocean.ru).

над поверхностью воды с борта судна. Разработанные для этого трехканальные спектрофотометры [13–16] позволяют оценить яркость восходящего из толщи воды излучения, нормированную на общую освещенность поверхности, — эта величина пропорциональна значениям, получаемым со спутников, но свободна от влияния атмосферы и фактически является оценкой состояния воды в точке. Однако результаты таких измерений все равно существенно отличаются от данных, полученных путем забора проб. Причиной может быть неравномерность распределения исследуемых компонентов воды по глубине. Для подтверждения мы проанализировали результаты комплексных исследований в прибрежных водах Каспийского моря и выработали рекомендации по выбору точек отбора проб воды для калибровки дистанционных оптических измерений.

В экспедиции на Каспийском море летом 2019 г. было проведено уникальное исследование прибрежных вод в течение целого светового дня с научно-исследовательского судна, которое двигалось вдоль побережья по маршруту, имеющему ряд характерных особенностей: выход из акватории порта, пересечение места впадения протоки с более теплыми и солеными водами в море, изучение районов около выдающегося в море мыса. Работа проводилась на станциях с помощью погружаемого зонда с измерителями электропроводности, температуры, давления, а также мутности воды и флуоресценции хлорофилла. Кроме того, на каждой станции производился забор проб воды с поверхности для их дальнейшей фильтрации с целью определения концентрации минеральной и органической взвеси в воде, а также оценивалась глубина видимости белого диска. На этих же станциях, а также на переходах между ними с борта судна в непрерывном режиме работал комплекс пассивного оптического дистанционного зондирования вод ЭММА (экологический мониторинг морских акваторий), оценивающий концентрации взвеси, окрашенного органического вещества («желтого вещества») и пигментов хлорофилла в морской воде. Полученные результаты дают редкую возможность сопоставления дистанционных данных (данные ЭММА и замеров глубины видимости диска Секки) и данных распределения характеристик водных масс по глубине, а также стандартных замеров, полученных в пробах воды с поверхности.

1. Характеристики методов исследования и результаты измерений

В ходе экспедиции в восточной части Каспийского моря 27 июля 2019 г. работы проводились на разрезе от порта города Актау на юг, к мысу Песчаному, и от мыса Песчаного на восток в сторону порта Курык с борта парусно-моторного катамарана. На 13 станциях были выполнены гидрофизические измерения, включая зондирование с получением вертикальных профилей температуры вод,

плотности, солености, флуоресценции хлорофилла и мутности (ед. изм. NTV — Nephelometric turbidity unit, определяемая через сравнение исследуемой воды со стандартной взвесью каолина) от поверхности до дна с помощью зонда SBE SeaCat 19plus. На каждой станции также были получены данные о глубине видимости белого диска. Результаты представлены на рис. 1.

Также производился отбор проб воды объемом 5 л с поверхностного горизонта. Взвесь отфильтровывалась под давлением (при перепаде 0,2 атм) на стекловолокнистые фильтры Whatman GF/F диаметром 47 мм. Фильтры высушивались в присутствии силикагеля и хранились в морозильнике. Анализ состава взвеси проводился в лабораторных условиях с использованием методики [17], основанной на расчете концентраций минеральной и органической взвеси (C_{\min} и C_{org}) по спектрам поглощения света взвесью, осажденной на фильтр. Спектры регистрировались на двухлучевом спектрофотометре СФ-14 производства ЛОМО. После фотометрирования эти же фильтры использовались для определения концентрации хлорофилла (C_{chl}) и пигментного индекса. С этой целью фильтры с осажденной взвесью в течение суток выдерживались в 90%-м водном растворе ацетона. Полученный экстракт фотометрировался на том же спектрофотометре. Методика пробоподготовки и расчета концентраций C_{chl} дана в [18]. Наибольшая изменчивость (в 3,8 раза) на исследованной прибрежной акватории была у концентрации минеральной взвеси (C_{\min}); изменчивость C_{org} и C_{chl} практически вдвое меньше (рис. 2, а).

На переходах между станциями с помощью проточной системы измерялись термохалинные характеристики поверхностного слоя вдоль трека судна. Проточная система состояла из центробежного насоса производительностью ~1 л/с, подающего забортную воду с горизонта 1 м при помощи шланга в специальный контейнер емкостью 30 л, и уложенного в этом контейнере STD-зонда YSI 6600. Система позволяла регистрировать температуру и соленость с высоким пространственным разрешением (~50 м). На рис. 2, б, в видно, что наибольшее увеличение температуры и солености по маршруту наблюдалось между 4 и 5 станциями в месте впадения в море вод из расположенного рядом резервуара.

Наконец, по ходу движения судна в светлое время суток, с 03:00 до 15:00 UTC, проводились измерения гидрооптических характеристик при помощи комплекса ЭММА [16]. Получена информация в почти 20 000 точек по маршруту, в каждой измерены три спектра: спектр яркости морской поверхности, спектр яркости участка неба, дающего наибольший вклад в отражение от поверхности, и общая освещенность, пересчитанная в спектр яркости белого диффузного экрана, в диапазоне 400–700 нм. В каждой точке по трем спектрам рассчитывался коэффициент спектральной яркости моря, далее по специальному алгоритму он пересчитывался в спектр поглощения света морской водой [7, 19]. Далее, принимая во внимание спектры поглощения трех основных природных компонентов (пигментов

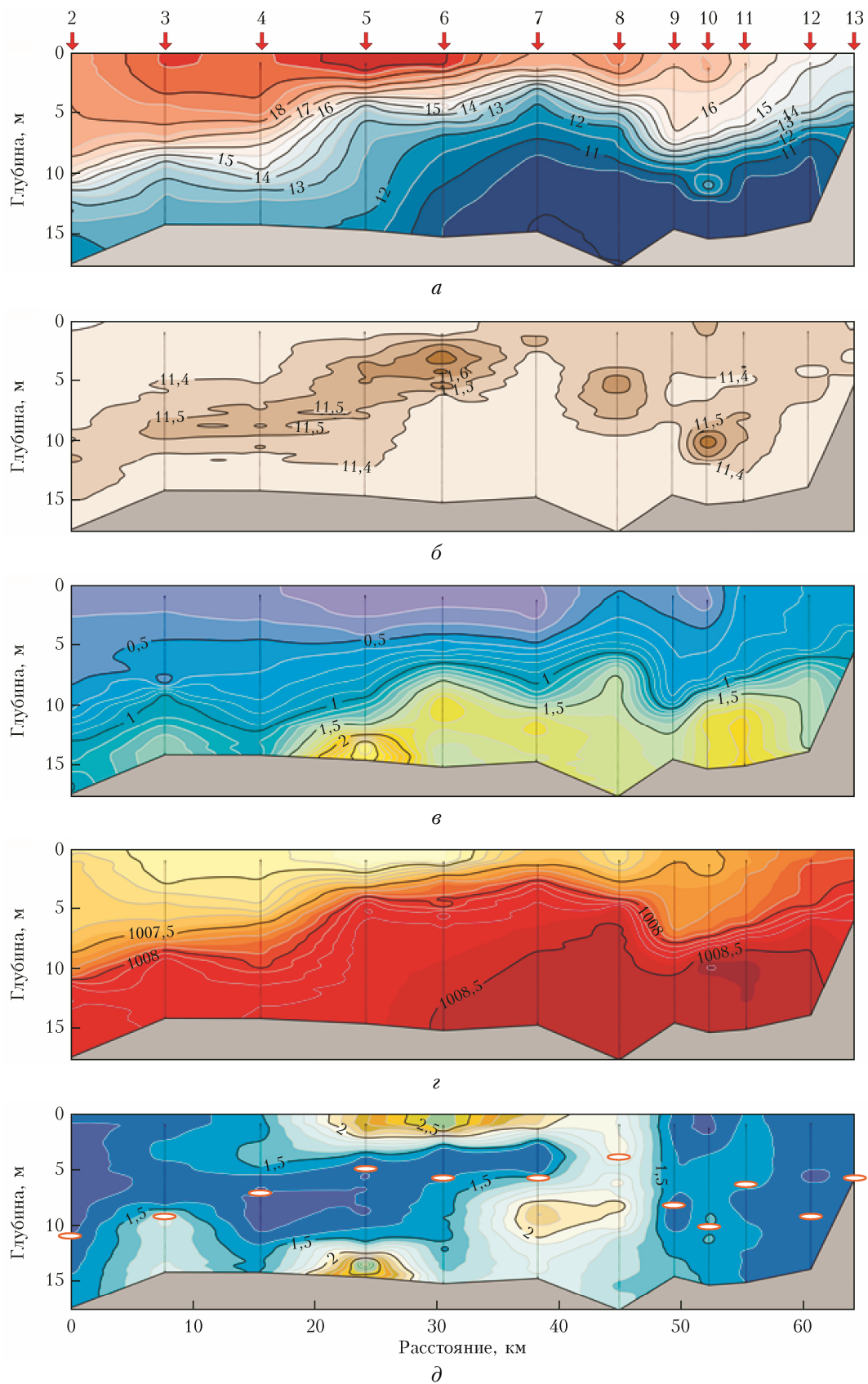
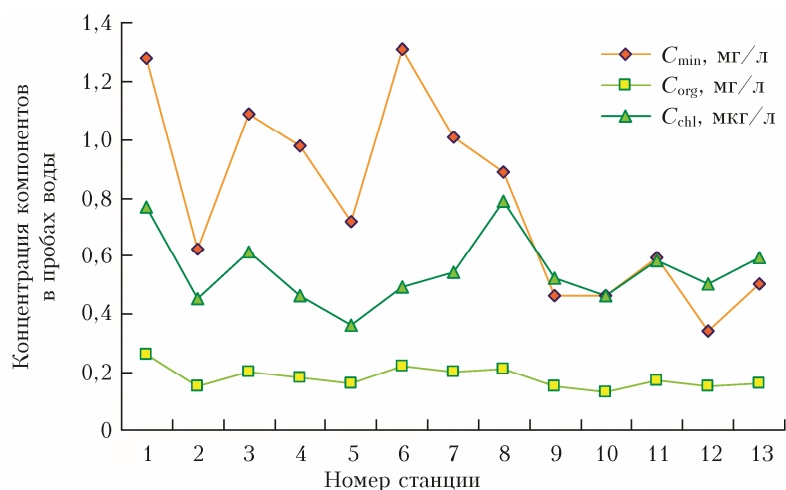
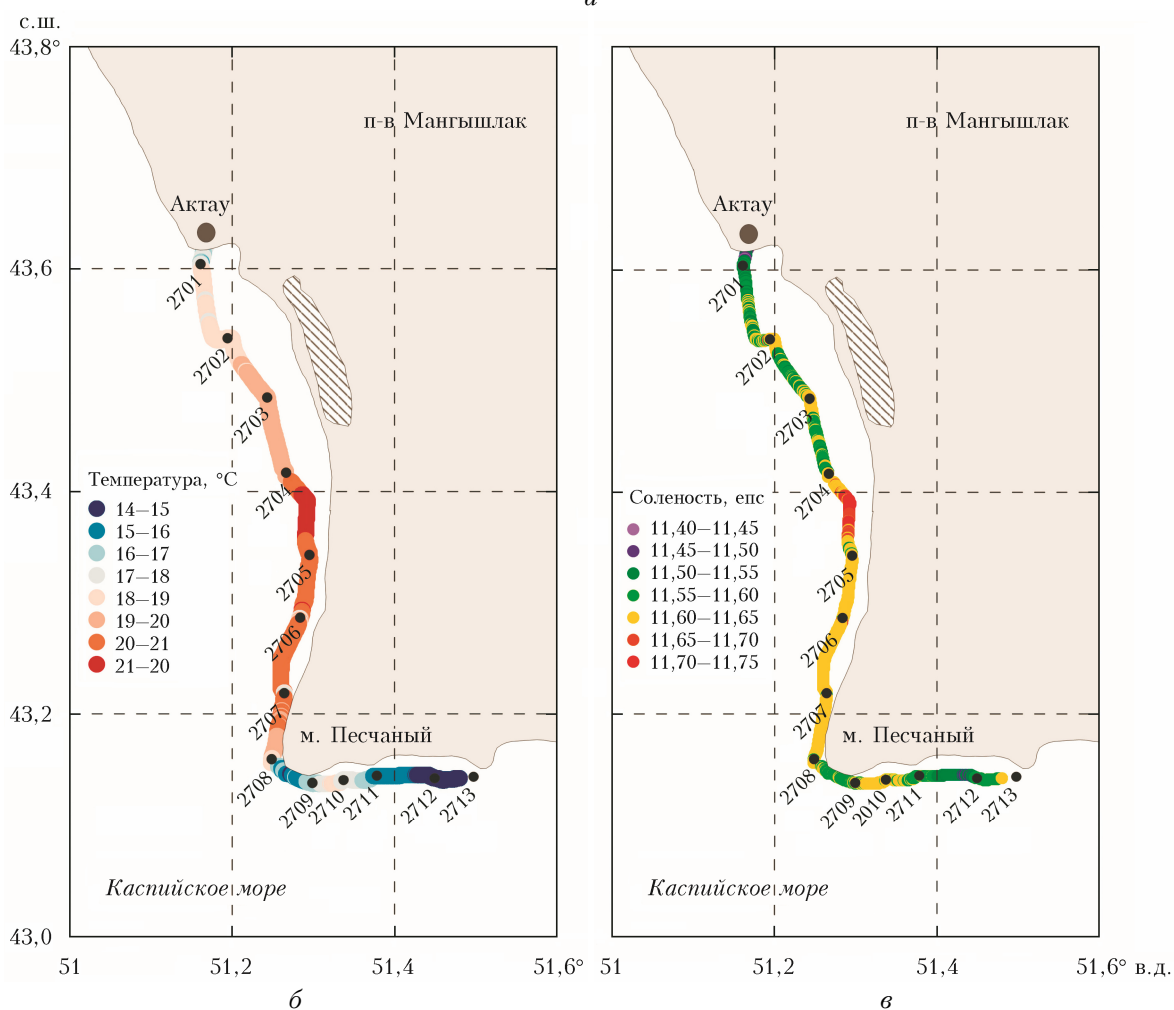


Рис. 1. Результаты вертикального зондирования на станциях (2–13) 27.07.2019 г.: температура, °С (а), соленость, ‰ (б), концентрация хлорофилла, мг/м³ (в), плотность, кг/м³ (г), мутность воды, NTU (здесь же показана глубина видимости белого диска) (д) (цв. рисунок см. на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.34-2021/iss.09>)



a



б

в

Рис. 2. Концентрации компонентов минеральной и органической взвеси и хлорофилла в пробах воды на станциях (а) и пространственная изменчивость термохалинных характеристик вдоль маршрута экспедиции по данным проточной системы (б, в) (цвет. рисунок см. на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.34-2021/iss.09>)

фитопланктона, окрашенного органического вещества — «желтого вещества» — и взвеси), методом наименьших квадратов были найдены концентрации этих компонентов в воде в единицах поглощения (рис. 3).

Видно, что в районе станций величина поглощения света взвесью изменяется, как и при оценках в пробах на станциях, примерно в 4 раза. Однако при проходе от 4-й к 5-й станции концентрация

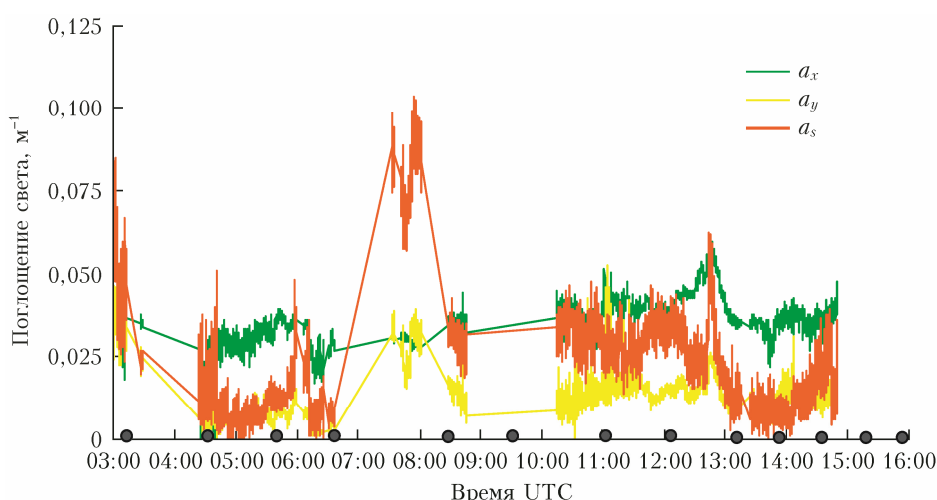


Рис. 3. Оценка концентраций основных природных компонентов в море по данным измерений с борта судна комплексом ЭММА: a_x – поглощение света пигментами фитопланктона на 440 нм; a_y – поглощение света «желтым веществом» на 500 нм; a_s – поглощение + рассеяние света назад взвесью (неселективное); кружки – время работы на 13 станциях (от 10 мин и более) (цв. рисунок см. на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.34-2021/iss.09>)

взвеси возрастает почти в 10 раз. При этом концентрации пигментов фитопланктона и «желтого вещества» меняются не более чем в 2 раза.

На основании имеющихся результатов было проведено сравнение данных дистанционных измерений и измерений непосредственно в толще воды.

2. Сравнительный анализ дистанционных данных и данных со станций

При калибровке или верификации дистанционных данных со спутников или с судовых носителей обычно используют данные, полученные в пробах воды с поверхности. Сравним оценки концентрации взвеси комплексом ЭММА и в пробах (рис. 4, а). Видно, что оценки для минеральной взвеси расходятся довольно значительно. Для взвеси, включающей органическую составляющую, расхождение того же порядка.

Причиной расхождения служит то, что дистанционные измерения оптическим комплексом позволяют оценить среднюю концентрацию взвеси по всей глубине проникновения света, а не только в поверхностном слое. Однако на многих станциях концентрация взвеси значительно меняется по глубине, и характер этих изменений различается даже на соседних станциях (см. рис. 1, д). Интересно, что результаты оценок концентрации взвеси в пробах и данных определения мутности в верхнем слое воды (на глубине 1 м) погружаемым зондом слабо коррелируют друг с другом (рис. 4, б). Очевидно, здесь также играет роль вертикальная неравномерность распределения взвеси даже на небольших глубинах.

Сравним результаты работы дистанционных измерений с данными с погружаемого зонда. Определим средние значения мутности на станциях в том диапазоне глубин, который просматривается с по-

верхности. На рис. 1, д на распределение взвеси по глубине нанесены значения глубины видимости белого диска на станциях 2–13. Далее проведено усреднение величины мутности по интервалу глубин от поверхности и до глубины видимости белого диска. Величина средней мутности пропорциональна среднему показателю ослабления света водой на каждой станции.

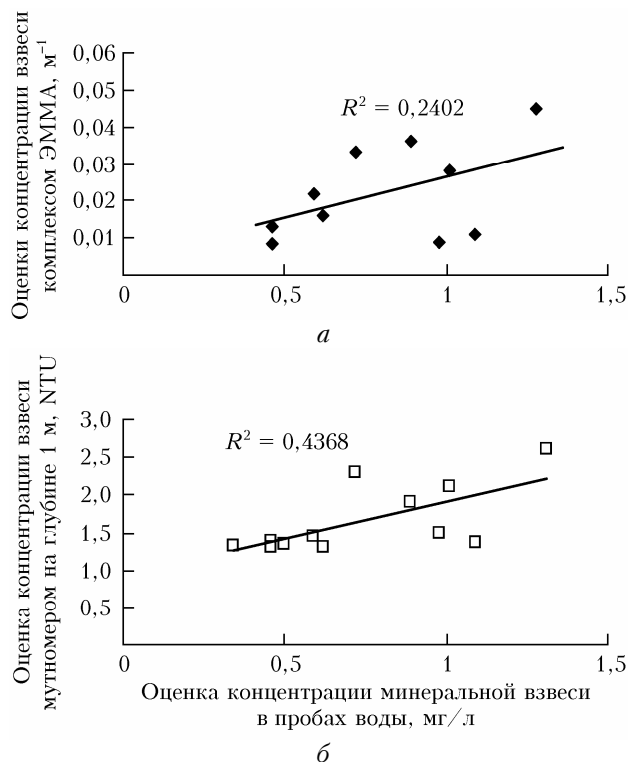


Рис. 4. Сравнение оценок концентрации взвеси в пробах с данными комплекса ЭММА (а) и погружаемого мутномера на глубине 1 м (б)

Будем считать, что для ограниченного диапазона глубин видимости белого диска их величина обратно пропорциональна среднему по этой глубине показателю ослабления света. На рис. 5, а приведены оценки средних показателей ослабления света по глубине, полученные обоими методами на станциях 2–12 (на станции 1 нет измерений по глубине; на станции 13 глубина видимости белого диска оказалась больше расстояния до дна, поэтому эти измерения не учитывались). Высокая степень корреляции этих оценок ($R > 0,95$) позволяет считать достаточно надежным определение относительного изменения среднего по глубине видимости показателя ослабления света водой традиционным дистанционным методом определения глубины видимости белого диска.

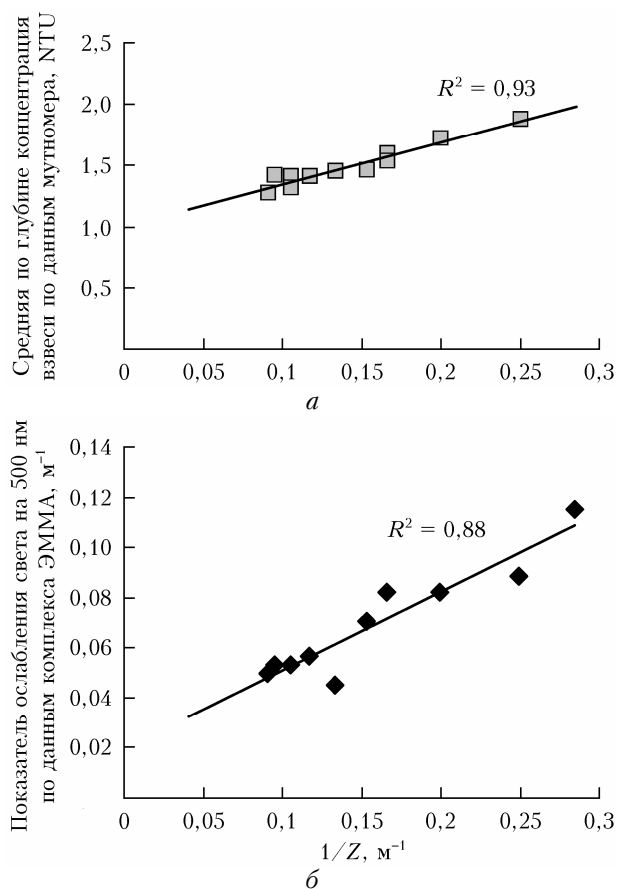


Рис. 5. Сравнение оценок мутности, средней по глубине видимости белого диска (а) и среднего по глубине показателя вертикального ослабления света на 500 нм ($a_s + a_y + a_{x_500} + a_{w_500}$) по данным комплекса ЭММА (б) с величиной, обратной глубине видимости белого диска $1/Z$

Покажем, что измерения комплексом ЭММА показателя вертикального ослабления света также дают средние по глубине оценки. Для этого сложим для каждой станции значения показателей вертикального ослабления света взвесью (a_s), поглощения света окрашенным органическим веществом (a_y) и пигментами хлорофилла (a_{x_500}) на 500 нм и поглощения света морской водой, не содержащей естественных компонент, т.е. чистой водой ($a_{w_500} =$

$= 0,02 \text{ м}^{-1}$ [20]). Результат сравнения с величиной, обратной глубине видимости белого диска, приведен на рис. 5, б. Видно, что здесь корреляция гораздо выше, чем при сравнении с данными проб воды с поверхности. Это подтверждает тот факт, что дистанционные оценки дают значения показателя ослабления, усредненного по диапазону глубин проникновения света.

Таким образом, для калибровки дистанционных данных пассивного оптического комплекса нужно выбирать те станции, где стратификация компонент воды по глубине проникновения света минимальна, или те, где средние по глубине величины близки к значениям в поверхностном слое воды. Такие станции могут быть выбраны при наличии данных одновременных измерений глубины видимости белого диска и анализа проб воды с поверхности. На рис. 6, а приведены результаты этих измерений на 12 станциях (квадраты). Строим регрессионную прямую по всем станциям (пунктирная линия), затем выбрасываем ту станцию, удаление которой дает максимальное увеличение коэффициента корреляции. Продолжаем этот процесс до тех пор, пока квадрат коэффициента корреляции не достигнет заданной величины (например, $R^2 > 0,81$). В нашем случае

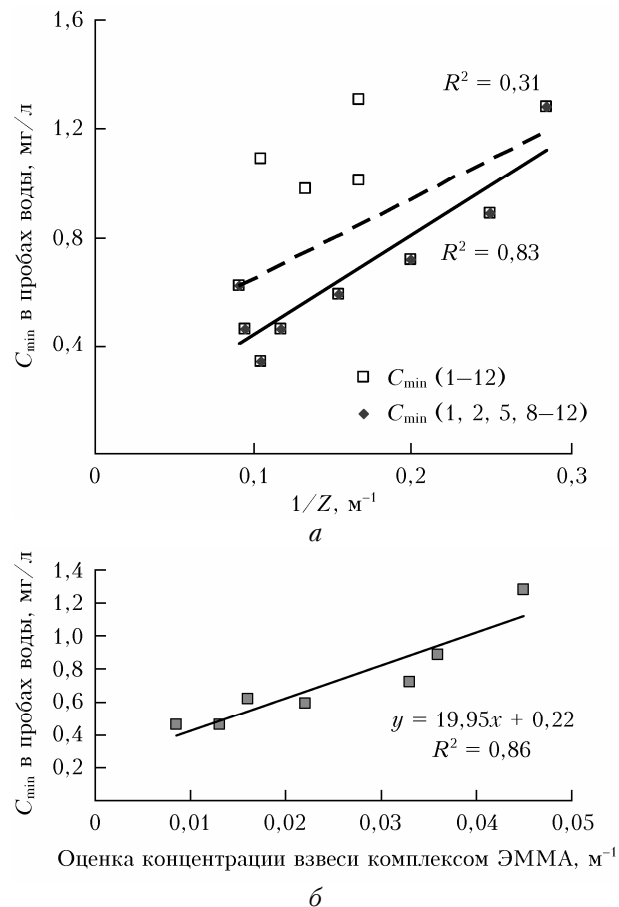


Рис. 6. Выбор станций, дающих близкую к средней по глубине оценку концентрации взвеси, путем сравнения оценок в пробах с величиной, обратной глубине видимости белого диска (а). Калибровка данных ЭММА по выбранным станциям 1, 2, 5, 8–11 (б)

потребовалось выбросить четыре станции: 3, 4, 6, 7 (ромбы). Калибровка данных ЭММА по оставшимся станциям показана на рис. 6, б – полученная калибровочная прямая приведена здесь же. Покажем, что именно на этих станциях концентрация компонент в поверхностном слое воды отличается от оценок средней концентрации по дистанционным измерениям и не может служить для калибровки этих оценок.

Сравнивая распределение характеристик воды по глубине в диапазоне видимости белого диска, можно сделать следующие выводы. На станциях 6 и 7 стратификация вод наиболее ярко выражена – в глубинной части, занимающей примерно половину всего объема воды, освещенного солнцем, мутность воды не превышает 1,5 NTU; в верхней половине мутность быстро увеличивается до 2,5 NTU и более. Ясно, что здесь наблюдается большое различие среднего слоя мутности и верхнего, поэтому эти станции нельзя использовать для калибровки дистанционных данных.

На станциях 3 и 4 (см. рис. 1) по данным вертикального зондирования мутности выявлена умеренная стратификация. Однако процесс вертикального зондирования начинается с глубины более метра. В то же время данные температуры и солености приповерхностных вод, полученные непрерывно работающей проточной системой, показывают, что в районе между 4 и 5 станциями происходит заток более теплых и соленых вод. Эти воды распространяются в основном на юг, однако часть их уходит и на север, очень тонким слоем. Это видно по распределению температуры на 3 и 4 станциях: температура воды, измеренная проточной системой, выше, чем температура на станциях 1 и 2; аналогично ведет себя и соленость – постепенно повышается при перемещении судна от Актау к станциям 3 и 4. Причем эти воды распространяются на север таким тонким слоем, что на вертикальных профилях солености и мутности, измеряемых на станциях с горизонта более полуметра, они не проявляются. Однако именно вторжение этих вод позволяет объяснить высокие концентрации взвеси в поверхностных пробах станций 3 и 4, не соответствующие средним по глубине оценкам.

Пользуясь регрессионной прямой, связывающей концентрации в пробах воды и значения, полученные по данным дистанционного комплекса ЭММА, в выбранных точках (рис. 6, б), можно рассчитать концентрации взвеси, средние по просвечиваемому солнцем слою воды, т.е. по наиболее важному слою с точки зрения активных гидробиологических процессов (рис. 7). Следует отметить, что при отсутствии аутсортинга точек (выброса ненужных точек) забора проб воды коэффициенты в выражении для калибровки отличались бы примерно в 2 раза.

Таким образом ясно, что вертикальное распределение компонентов, влияющих на оптические свойства среды, в водном столбе является важным фактором при выборе проб для калибровки дистанционных измерений.

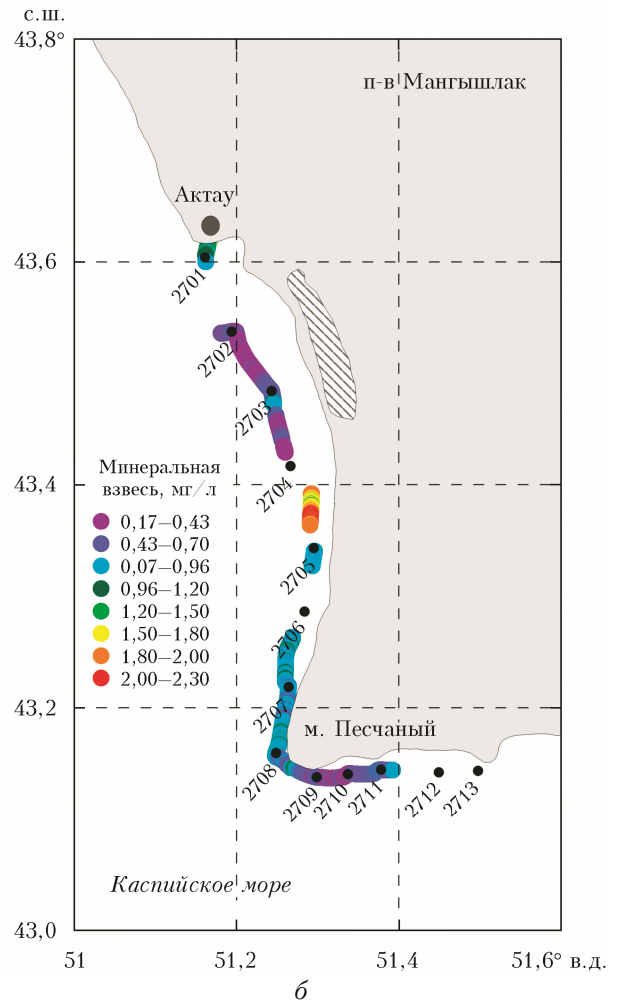
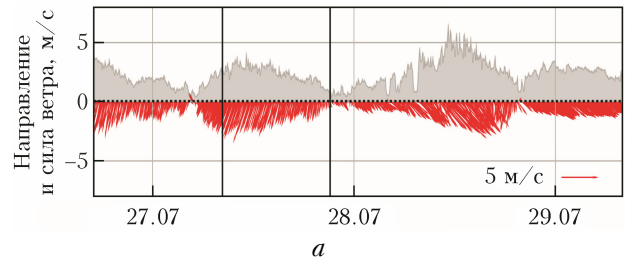


Рис. 7. Направление (темно-серые линии) и сила (светло-серые линии) ветра при проведении измерений 27.07.2019 г. (а) и распределение минеральной взвеси вдоль маршрута судна по данным комплекса ЭММА (б) (цв. рисунок см. на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.34-2021/iss.09>)

Проанализируем, какие же явления вызывают то или иное вертикальное распределение концентрации водных компонент в нашем случае. Как показали измерения на метеорологической станции, установленной на мысе Песчаном, ветер в день проведения работ был северо-восточным, 4–6 м/с (рис. 7, а). В исследуемой акватории такой ветер вызывал отгон воды с последующим возникновением апвеллинга – это хорошо видно на вертикальных разрезах по положению термоклина (см. рис. 1, а): утром, при более слабом ветре, на станциях 2–4

термоклин располагается на глубине ~ 10 м, затем при движении судна ближе к берегу и усилении ветра термоклин наблюдается выше ~ 5 м. За мысом Песчаным термоклин также поднимается до 5 м. Это зоны апвеллинга, характеризующиеся подъемом холодных вод от дна и более низкой температурой у поверхности. За мысом благодаря апвеллингу наблюдается более слабая стратификация вод. Однако заток теплых и соленых вод в районе станций 4 и 5, основная масса которых распространяется в верхнем тонком слое, меняет структуру поверхностных вод до мыса – это и вызывает увеличение стратификации и необходимость выбросить из рассмотрения станции 3, 4, 6, 7. Интересно отметить, что при общем уменьшении прозрачности глубина видимости белого диска уменьшается настолько, что охватывает только верхний мутный слой, – такие станции могут быть использованы при калибровке (5 и 8). За мысом Песчаным ветер вызывает перемещение тонкого теплого слоя в открытое море, возможно, с образованием мезовихря с более активным процессом перемешивания вод. Вдоль побережья от мыса на восток основное влияние на структуру вод оказывает апвеллинг, при развитии которого придонные и приповерхностные воды эффективно перемешиваются и стратификация ослабляется.

Таким образом, все станции в зонах апвеллинга, где нет смешения с водами иной структуры, втекающими в исследуемую акваторию с побережья (станции 1, 2, 9–13), могут быть использованы для калибровки дистанционных измерений. Кроме того, калибровка возможна по данным, полученным в тех местах, где глубина проникновения света мала из-за высокой мутности и близка к толщине эффективного перемешанного поверхностного слоя (станции 5 и 8).

Заключение

При сравнении данных, полученных в поверхностных пробах и дистанционным оптическим методом, необходимо учитывать, что возможные расхождения результатов определяются не столько неточностью какого-либо из методов, сколько различными базами усреднения: дистанционный оптический метод получает усредненную по глубине оценку параметра, в то время как оценка в пробах характеризует только верхний слой воды. Поэтому для качественного сравнения данных и их калибровки необходимо выбирать такие районы отбора проб воды, где вертикальная стратификация вод до глубины эффективного проникновения света в толщу воды минимальна. Для их выявления можно использовать анализ общих характеристик района проведения измерений и/или предложенный в этой работе метод выбора точек в зависимости от величин, обратных глубине видимости белого диска.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России (тема № 0128-2021-0001 – создание методики, сравнительный анализ данных), а также

при финансовой поддержке Комитета по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № APOS956547) «Пилотные измерения течений на Мангыстаусском шельфе Каспийского моря» (проведение измерений).

1. Palmer S.C.J., Kutser T., Hunter P.D. Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions // *Remote Sens. Environ.* 2015. V. 157. P. 1–8.
2. Mouw C.B., Greb S., Aurin D., DiGiacomo P.M., Lee Z.-P., Twardowski M., Binding C., Hu C., Ma R., Moore T., Moses W., Craig S.E. Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions // *Remote Sens. Environ.* 2015. V. 160. P. 15–30.
3. Schaeffer B.A., Schaeffer K.G., Keith D., Lunetta R.S., Conmy R., Gould R.W. Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management // *Int. J. Remote Sens.* 2013. V. 34. P. 7534–7544.
4. Tyler A.N., Hunter P.D., Spyros E., Groom S., Constantinescu A.M., Kitchen J. Developments in Earth observation for the assessment and monitoring of inland, transitional, coastal and shelf-sea waters // *Sci. Total Environ.* 2016. V. 572. P. 1307–1321.
5. Hestir E.L., Brando V.E., Bresciani M., Giardino C., Matta E., Villa P., Dekker A.G. Measuring freshwater aquatic ecosystems: The need for a hyperspectral global mapping satellite mission // *Remote Sens. Environ.* 2015. V. 167. P. 181–195.
6. Suslin V., Churilova T. A regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-*a* and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners // *Int. J. Remote Sens.* 2016. V. 37. P. 4380–4400.
7. Постовцева В.В. Метод получения спектров поглощения морской воды по данным пассивного дистанционного зондирования с борта судна с использованием свойств чистой воды // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 11. С. 1003–1011.
8. Alikar 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. V. 12. P. 616. DOI: 10.3390/rs12040616.
9. Yushmanova A., Kopelevich O., Vazyulya S., Sahling I. Inter-annual variability of the seawater light absorption in surface layer of the northeastern Black Sea in connection with hydrometeorological factors // *J. Mar. Sci. Eng.* 2019. V. 7. P. 326. DOI: 10.3390/jmse7090326.
10. Guangjia Jianga, Loisedel S.A., Dingtian Yangc, Ronghua Maa, Wen Sue, Changjun Gaof. Remote estimation of chlorophyll *a* concentrations over a wide range of optical conditions based on water classification from VIIRS observations // *Remote Sens. Environ.* 2020. V. 241. P. 111735.
11. Каралли П.Г., Копелевич О.В., Салинг И.В., Шеберстов С.В., Паутова Л.А., Силкин В.А. Валидация дистанционных оценок параметров кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по данным натурных измерений // *Фундам. и прикл. гидрофиз.* 2018. Т. 11, № 3. С. 55–63.
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. V. 9. P. 420–444.
13. Bresciani M., Pinardi M., Free G., Luciani G., Ghebrehiwot S., Laanen M., Peters S., Della Bella V., Padula R., Giardino C. The use of multisource optical

- sensors to study phytoplankton spatio-temporal variation in a shallow turbid lake // *Water. Novel Lake Water Quality Monitoring Strategies*. 2020. V. 12, N 284. P. 1–17. DOI: 10.3390/w12010284.
14. *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. V. 12. P. 616. DOI: 10.3390/rs12040616.
 15. *Peters S., Laanen M., Groetsch P., Ghezehegn S., Poser K., Hommersom A., De Reus E., Spaias L.* WISP-station: A new autonomous above water radiometer system // *Proc. Ocean Opt. XXIV Conf. Dubrovnik, Croatia, 7–12 October 2018*.
 16. *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.
 17. *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, № 4. С. 1–9.
 18. *ГОСТ 17.1.04.02-90.* «Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*». М.: Госкомитет СССР по охране природы, 1990. 16 с.
 19. *Ростовцева В.В., Коновалов Б.В., Гончаренко И.В., Хлебников Д.В.* Способ оценки содержания примесей в морских водах с помощью оперативной спектрофотометрии // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 4. С. 560–574.
 20. *Pope R.M., Fry E.S.* Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. Integrating cavity measurements // *Appl. Opt.* 1997. V. 36. P. 8710–8723.

V.V. Rostovtseva, A.S. Izhitskiy, I.V. Goncharenko, B.V. Kononov, P.O. Zavalov. **On the influence of hydrophysical conditions on representation of hydro-optical measurements using the data of the Middle Caspian coastal water exploration.**

Remote passive optical measurements of the state of waters from a ship, air carrier, or satellite are the most informative due to the coverage of a large area and high frequency of measurements. At the same time, for a correct assessment of the data obtained it is usually necessary to carry out *in situ* measurements of the water state, which means the analysis of water samples taken at a limited number of points. Using the studies carried out in coastal regions of the Middle Caspian, the conditions for the suitability of such point measurements for calibrating the results of remote hydro-optical measurements by the EMMA complex (Ecological Monitoring of Marine Waters) from board of a moving vessel have been identified. The explanation for the identified limitations was given by analysis of the structure of coastal waters obtained by water vertical sounding at the stations and operation of a flow-through system for determination of surface water temperature and salinity. An algorithm is proposed for selecting water samples suitable for calibration of remote sensing data by correlating them with the Secchi disk depth. The efficiency of this method is demonstrated. It is shown what kind of hydrophysical conditions should be taken into account for the preliminary selection of water sampling sites for calibration of optical remote measurements.