

Ю.А.Прохоренко, Е.А.Агафонов, А.С.Кукушкин

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**К АНАЛИЗУ ДАННЫХ СОВМЕСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ
У ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ**

Из-за многофакторной зависимости формирования полей полученные обособленно оценки каждого из свойств имеют ограниченные возможности интерпретации по ним состояния морской воды. При совместном и одновременном измерении свойств выясняются взаимное расположение и характер неоднородностей, что дополнительно вносит указания на их зависимость или независимость от развития определённых процессов появления и распространения взвеси и тепла у поверхности моря.

На примере исследования измерений показателя ослабления излучения морской воды и её температуры, результатов буксировки измерителя у поверхности Чёрного моря вдоль берегов Кавказа, показано, каким образом их можно эффективно использовать для повышения достоверности выводов.

Синхронные и совместные измерения показателя ослабления излучения морской воды (ПОИ) и её температуры T позволяют уверенно выделять из распределений коррелированные участки как испытывающие влияние определённых физических или биологических процессов. В ранее опубликованных работах по данным такого рода, прежде всего, объяснялось происхождение небольших участков пространственного коррелированного распределения свойств, а не их состояния по всей трассе измерений [1]. Это имело целью делать по ним оценки других, прямо или косвенно связанных с ними океанологических полей. Остальным, некоррелированным изменениям свойств не уделялось достаточного внимания.

Цель работы – продемонстрировать возможности более полного и эффективного использования такого рода информационных массивов измерений. Для этого предлагается использовать последовательно несколько возможных представлений материала. Этим может быть реализовано разностороннее (и качественно, и количественно) оценивание проявления особенностей обоих распределений отдельно и в их взаимных сочетаниях. Привлекая к анализу дополнительные сведения о возможных влияниях на наблюдаемые поля локальных условий района, известных по другим исследованиям (например, сезонный ход и конкретные погодные условия, которые предвзяли и сопутствовали измерениям, знания свойств источников образования или сброса примесей и характера их переноса, динамики вод), можно более полно представить картину событий.

Методика первичной обработки и представления измерений. Измерения ПОИ на длине волны 428 нм выполнены буксируемым прибором БИПТ, разработанным в отделе оптики Морского гидрофизического института НАН Украины. Результаты измерений снимались с диаграммных лент и табулировались со скважностью, соответствовавшей пространственному масштабу 1 км. Сформированный таким образом информационный массив

для дальнейшего анализа может быть представлен различным образом. Каждое представление обладает своими возможностями выделения особенностей и оценивания свойств распределений. По отдельной трассе результаты буксировки прибора можно представить профилями изменения величин вдоль пространственной оси. По серии пространственно близких трасс (на полигоне) – планами изолиний. По тому и другому представлению отдельно исследуются характерные особенности пространственных распределений, форма неоднородностей свойств, а вместе – степень пространственной и структурной согласованности неоднородностей между обоими распределениями свойств. Вычисляются и сводятся в таблицы статистические характеристики свойств распределений, оценки положения массива. Они дают возможность представлять экспериментальные законы распределений (диаграммы распределения плотности вероятности). Эти оценки исследовались как отдельно, так и во взаимосвязи.

На профилях ПОИ и T выделяются участки коррелированных изменений, для которых вычисляют коэффициенты линии регрессии и уровня корреляции. Предварительные оценки характера и уровня корреляции свойств удобно выполнять по графикам, состоящим из точек на плоскости. Координаты каждой такой точки отвечают отложенным в прямоугольной системе координат величинам обоих свойств, одновременно измеренным вдоль трассы буксировки. Остальные участки измерений не привлекались к анализу из-за того, что в этом случае уровень корреляции становился незначительным. Однако не только коррелированные участки измерения могут быть полезны для анализа такого представления.

В океанологической практике анализа данных широко и продуктивно используется такое же представление связей между гидрологическими параметрами. Так анализируются связи между гидрохимическими и гидрологическими параметрами и т.д. [2]. В этих случаях анализируемые свойства не находятся между собой в прямой зависимости.

На графике, соответствующем всей последовательности измерений ПОИ и T , получается некая совокупность точек, занимающая определённую часть его плоскости (будем называть её et -диаграммой). Соответствуя отдельному информационному массиву наблюдений, совокупность характеризует его своей формой и положением.

Ввиду отсутствия до наших совместных измерений ПОИ и T , такое представление результатов ранее не могло быть корректным, не применялось и не исследовалось. Поэтому остановимся подробнее на оценках свойств, которые следуют из такого представления измерений.

Каждая точка наших диаграмм может считаться обозначающей как бы et -состояние воды в каждой точке измерения (по аналогии с термохалинным состоянием). Тогда последовательность точек обозначит эволюцию состояния. Вид совокупности точек et -диаграммы для определённого массива отражает степень сохранения или характер изменения контролируемых свойств вод. По большей части такие совокупности отражают независимость обоих свойств, но в et -диаграмме могут быть и коррелированные участки. По числу точек в них можно оценивать размеры неоднородностей распределения, определять размеры участков (пространства или периода времени измерений), где имеется существенно не меняющаяся взаимосвя-

симость свойств. Число точек в обособленных частях совокупности, по отношению ко всей совокупности обозначает соотношение между ними, долю (удельный вес) отдельных неоднородностей от всего информационного массива. Положением точек на коррелированных областях *et*-диаграмм предварительно оценивается степень и вид корреляционной зависимости или независимости наблюдений. По *et*-диаграммам же могут оцениваться пределы изменения каждого свойства, читается диапазон, точные границы изменения ПОИ и *T* для любой части массива. Общий вид совокупности точек *et*-диаграмм для отдельных массивов даёт визуальные, прямые определения многих статистических оценок, а также особенностей распределения свойств, обуславливающих отклонения формы законов распределений от нормального закона. По величине занимаемой площади можно оценивать степень однородности объекта исследования (трассы или периода времени наблюдения), обособленность частей и доли составных частей в общей совокупности точек объекта*.

Из перечисленного выше очевидно, что представление материалов совместных измерений *et*-диаграммами продуктивно для предварительного оценивания свойств, как качественно, так и количественно.

Используя и другие виды представлений, можно многосторонне характеризовать данные. Первичные результаты измерений можно представлять графически и сводить в таблицы статистических характеристик.

Ниже в каждом представлении первичных результатов измерений вначале обсуждаются особенности распределений ПОИ и *T* для полосы вод, следующие из всего массива данных. Сделанные по объединённым рядам оценки каждого физического свойства дополняют анализ каждой из трасс опорными, средними, давая общую характеристику полосы в момент измерения. Затем характеризуется отдельно каждая трасса, но уже в связи с общим состоянием каждой оценки в полосе. На рис.1 помещены профили и ПОИ, и *T* вдоль трасс наблюдений. На рисунке видно, как совместно менялись свойства вод, где и какие в них отмечены неоднородности. Планы изолиний ПОИ и *T* (рис.2) дают представление о пространственном характере полей, распределении свойств относительно элементов орографии берегов в пределах полосы вод шириной порядка 25 км. Экспериментальные законы распределений (графики плотности вероятности значений) показаны на рис.3. По ним определяются виды распределений, их положение и составные части на трассах и во всей полосе. В табл.1 помещены основные статистические оценки числовых выборок. На рис.4 показаны соответствующие *et*-диаграммы, отражающие характер и уровень взаимосвязи наблюдаемых свойств.

Условия наблюдения и географические особенности района. Для примера была выбрана серия из 4-х последовательных трасс буксировки прибора, выполненных в июне 1979 г. на НИС «Ай-Годор» вдоль кавказского побережья, между портами Туапсе и Батуми. Расстояние между трассами (0,7 – 5 миль), в сравнении с их протяжённостью (около 390 км), незначительно. Съёмка полосы прибрежных вод шириной порядка 25 км выполнялась для оценивания хода изменчивости обоих физических характеристик

* Для наглядности для всех диаграмм желательно выбирать одинаковые масштабы шкал ПОИ и по *T*, вмещающие полные диапазоны их вариаций.

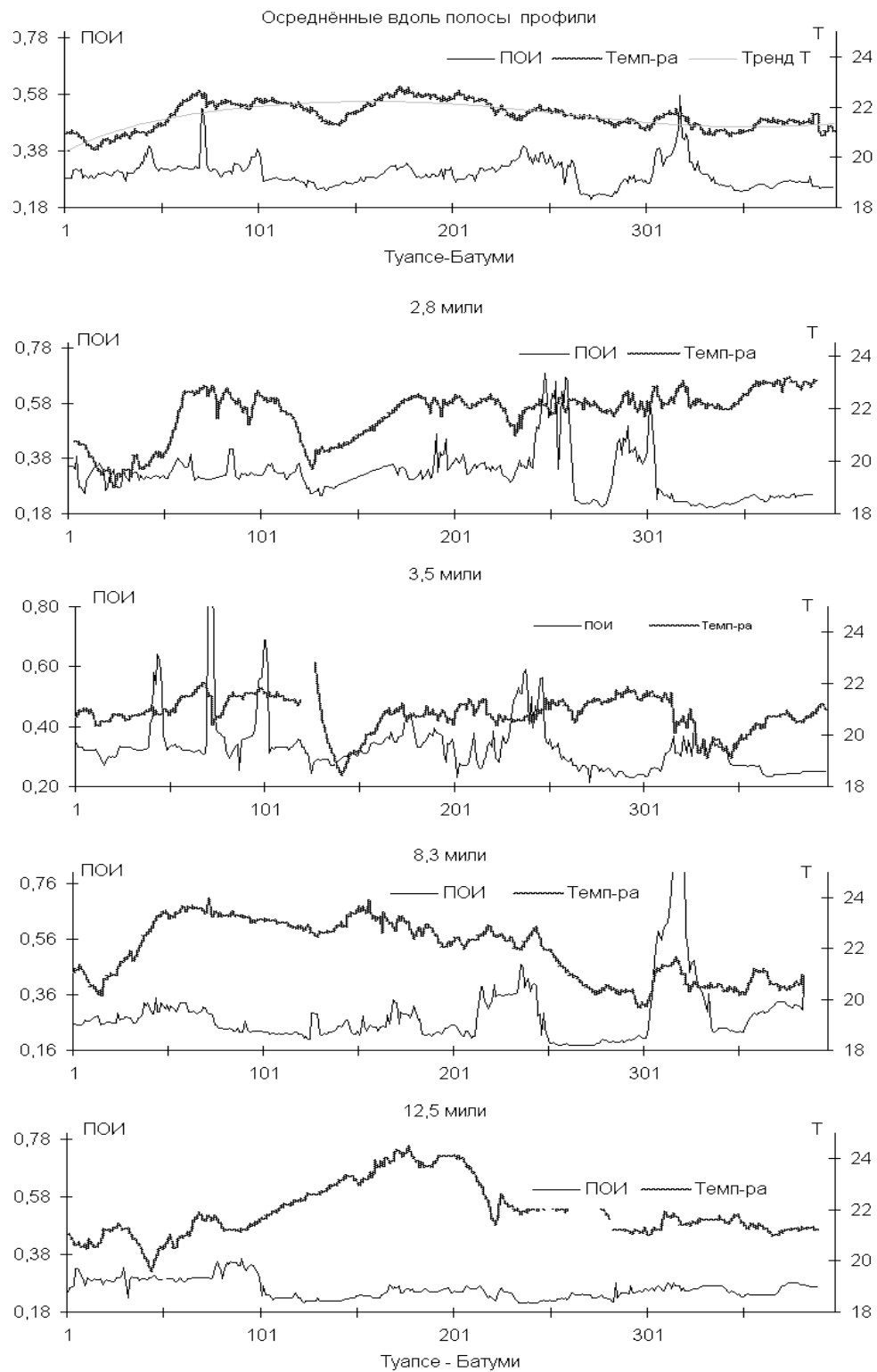
района в направлении берег – открытое море. Трассы располагались на разной дистанции от берега, в среднем от 2,8 до 12,5 миль. Продолжительность съёмки достаточно мало, около 5 сут. При глубине трассы измерений 2 – 4 м в результатах измерений существенно ослаблена и суточная составляющая изменчивости свойств. Поэтому в них мало заметен временной, суточный и синоптический ход изменчивости свойств вод. В связи с узким шельфом вдоль исследованного района, значительная часть трасс оказалась над материковым склоном, за пределами шельфа. Влияние берегового выноса, горных рек и сточных вод от населённых пунктов, даже у ближней границы исследуемой полосы вод сильно ослаблено.

Известно, что в зоне наблюдений распространяются две основные струи Основного Черноморского течения (ОЧТ), от разделившегося у м.Чам единого потока – вдольбереговая, с юго-востока на северо-запад, и следующая через открытое море к м.Пицунда – наиболее вероятного района их слияния. Известно также, что у материкового склона Чёрного моря струи ОЧТ испытывают тормозящее влияние дна. В результате у периферии потока ОЧТ, со стороны берегов формируются вихревые образования обоих возможных направлений циркуляции, которые развивают в своих центральных областях вертикальное перемещение вод. Размеры вихрей вдоль кавказского побережья достигают десятков километров, а скорости перемещения вод в них доходят до 2 – 5 км в сутки [6].

Таким образом, в полосе вод района работ можно ожидать влияния на измерения прибрежных и «морских» источников возмущения, скорректированным элементами «прибрежных» и динамических структур открытого моря. Ко всем наблюдениям в районе и к каждой трассе можно относиться как к отдельным физическим и статистическим объектам, изменчивость которых обеспечивается одними и теми же основными событиями, процессами, при достаточном для статистических оценок количестве измерений. В районе работ на исследуемые физические поля могут оказывать своё влияние (через адвекцию и вергенции водных масс) особенности динамики широкого спектра масштабов.

Обсуждение результатов наблюдения. *Горизонтальные профили распределения ПОИ и T на трассах.* Несмотря на различия в деталях (в форме, размерах и расположении неоднородностей), в характере распределения ПОИ всех трасс имеются общие черты. На них преобладают пространства с относительно однородными и прозрачными водами. Очень и не очень мутные воды занимают на трассах относительно короткие участки. В.С.Большаков называет вид распределения прозрачности прибрежных вод, где основные пространственные структуры обеспечиваются прозрачными водами открытого моря по характеру перемешивания «морским» [4]. На фоне прозрачных вод трассы содержат 4 – 5 обособленных участков более мутных, протяжённостью порядка 5 – 25 км. На севере, между портами Туапсе и Сочи, протяжённость трёх мутных участков вод невелика: по 5 – 10 км каждый. Южнее оптические неоднородности оказались в несколько раз длиннее.

В полосе вод отмечены два вида оптических неоднородностей. Одни, на севере, ближе 2,8 миль к берегу, меньшей протяжённости и с более мутными водами, вероятно, прибрежного происхождения. Другие, лежащие на южной



Р и с . 1 . Профили горизонтального распределения ПОИ и T в полосе и на трассах.

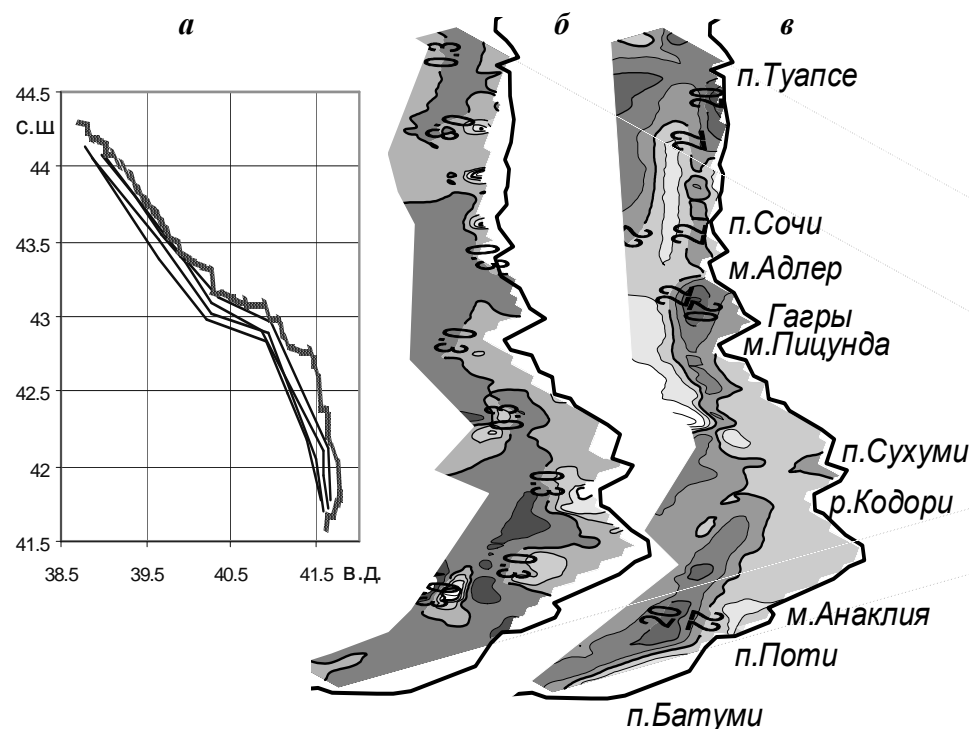
половине трасс далее чем 3,5 мили от побережья, имели большую протяжённость и выделялись меньшим контрастом.

В форме неоднородностей ПОИ (наблюдаются участки мутных вод) заметна асимметрия. Большая крутизна, резкие перепады значений определяют вид юго-восточных границ многих неоднородностей. Северо-западные границы плавные, растянутые. Асимметрия формы оптических неоднородностей, по-видимому, отражает преобладающее направление переноса примесей вдоль трассы на северо-запад. Некоторые термические и оптические неоднородности вдоль трасс близко соседствуют, но точного их совпадения не отмечается. В форме термических неоднородностей, пространственно близких к оптическим, асимметрии не обнаруживается, что указывает на различия механизмов формирования на этих масштабах неоднородностей ПОИ и T .

На осреднённом профиле T хорошо заметны 5 – 6 образований локального понижения температуры на участках длиной порядка 20 – 50 км. В направлении с севера на юг (до 174-го км) в полосе вод отмечается рост температуры. Южнее его сменяет снижение T , что передано на графике линией тренда. Возможно, это повышение T в средней части полосы – следствие притока сюда струи вод ОЧТ непосредственно от м.Чам.

На южных половинах трасс района распределение T отличалось повышенным содержанием мелкомасштабных (порядка 2 – 5 км) неоднородностей. Отклонения величин T в них заметно уменьшались с удалением от побережья.

На севере и юге района структуры неоднородностей вдоль трасс имеют различия в обоих гидрофизических полях. Из осреднённых профилей трасс



Р и с . 2 . Пространственное положение трасс измерения (а), распределение ПОИ (б) и T (в) в полосе прибрежных вод.

(для полосы вод) также следует деление их как по оптическому, так и термическому свойствам на две почти равные по протяжённости части.

Тенденция к снижению степени неоднородности распределения физических свойств в направлении от берега, поперёк исследуемой полосы вод, выражена слабо.

Пространственное распределение свойств. Вдоль полосы вод, в поле ПОИ обнаруживаются два рода неоднородностей (рис.2). Одни по форме напоминают языки мутных вод, внедряющиеся со стороны берега, что указывает на их связь с локальными береговыми выносами примесей. Другие имеют форму изолированных эллиптических пятен. Пятна не имеют очевидной связи с береговым выносом, хотя также состоят из мутных вод. Большие оси эллипсоидных неоднородностей мутных вод ориентированы по направлению, близкому к преимущественному направлению простирающейся береговой черты. Изолиния $0,3 \text{ м}^{-1}$ на плане ПОИ ориентирована преимущественно вдоль полосы вод, параллельно простирающуюся линии берега. Иногда она прерывается, выходя за пределы исследуемой полосы в открытое море, к юго-западу. Приближаясь к восточной границе полосы вод, изолиния $0,3 \text{ м}^{-1}$ указывает места подхода относительно прозрачных вод открытого моря к берегу. В полосе исследования вод изолинию $0,3 \text{ м}^{-1}$ можно считать за линию раздела основных неоднородностей ПОИ двух родов – имеющих связи с берегом, «прибрежных», и зарождающихся в море, «морских».

Поле T (рис.2) выглядит заполненным вытянутыми вдоль берега замкнутыми пятнами «холодных» и «тёплых» вод. «Тёплые» локализованы на севере, до Адлера; «холодные» – южнее м.Адлер*.

Таким образом, неоднородности каждого свойства и ПОИ, и T вдоль полосы вод разделялись на два рода. Хотя они имели в поле ПОИ и в поле T разные формы, размеры, во многих случаях их положения пространственно совпадали. Отсюда следует высокая вероятность того, что те и другие имели в основе одни и те же формирующие процессы, но разные механизмы формирования. В прилегающей к м.Адлер акватории произошла постепенная смена формирующих термические неоднородности процессов.

В итоге, по пространственному распределению свойств полей оценены формы и положения отдельных неоднородностей обоих гидрофизических свойств. По характерной форме их неоднородностей определены пространственные масштабы формирующих процессов и установлены различия их воздействия.

Статистическая характеристика распределений. В таблице приведены

* По результатам этой съёмки ранее, в 2001 г. [1], уже описывалось пространственное распределение обоих физических параметров. Там, для построения планов горизонтальные профили были заменены ломаными прямыми и, таким образом, в интерполяции учтены только основные неоднородности, их упрощённые образы. В расчёте планов рис.2 учитывались все величины характеристик вдоль трасс, снятые с дискретностью в 1 км, что ближе к действительным горизонтальным распределениям и к другим исследуемым в данной работе представлениям результатов выполненной съёмки. Естественно, оба варианта планов подобны, но в отличие от рис.2 первые планы имеют более сглаженный вид. Поэтому рис.2 ближе к действительному распределению, точнее описывает формы неоднородностей, что позволило надёжнее интерпретировать их, отмечать более тонкие подробности, а результаты, выводы по ним с большей уверенностью сопоставлять с другими, помещёнными в данной работе способами представления.

одни и те же статистические оценки для обоих свойств. Одни определяют положения областей числовых совокупностей, другие оценивают форму экспериментальных законов физических свойств. Отличие законов плотности вероятности значений ПОИ и T в полосе вод от нормального определили ограничения по набору статистических оценок, обеспечивающих возможность их корректного применения. Медианы и средние, общие и на трассах, не совпадая друг с другом, показывают асимметрию формы большинства распределений, графиков плотности вероятности. Асимметрия для ПОИ создается каждый раз за счёт небольшой доли «мутных» вод, а по T – за счёт преобладания «холодных» вод.

Характерно, что диапазон изменений для всего района в поле T оказался в 1,5 раза выше, чем для любой отдельной трассы. Это произошло за счёт разнонаправленных смещений границ диапазонов температуры между трассами.

Числовые оценки статистических характеристик на «крайних» по расстоянию до берегов трассах (2,8 и 12,5 миль) близки к средним для района, показывая достаточно спокойное распределение вдоль них физических свойств.

Из таблицы следует, что более высока неодноро-

Т а б л и ц а . Статистические оценки совместного распределения ПОИ и T вод.

наименование статистической характеристики	ПОИ воды					T воды				
	оценки на трассах (мили)					оценки на трассах				
	Σ 4-х трасс	2,8	3,5	8,3	12,5	Σ 4-х трасс	2,8	3,5	8,3	12,5
диапазон	1,32	0,49	0,99	1,32	0,16	6,05	4,15	4,35	4,25	4,9
минимум	0,18	0,20	0,21	0,18	0,21	18,45	19,2	18,45	19,7	19,6
максимум	1,50	0,69	1,20	1,50	0,37	24,50	23,35	22,8	23,95	24,5
среднее	0,300	0,319	0,330	0,288	0,260	21,65	21,99	20,80	21,94	21,95
медиана	0,283	0,315	0,320	0,255	0,255	21,55	22,30	20,80	22,25	21,65
25%-ный квантиль	0,240	0,250	0,270	0,223	0,235	20,80	21,50	20,55	20,68	21,20
75%-ный квантиль	0,330	0,350	0,345	0,311	0,280	22,50	22,60	21,35	23,00	22,40
разность квантилей 75%-25%	0,090	0,100	0,650	0,088	0,045	1,70	1,10	0,80	2,32	1,20
стандартная ошибка определения среднего	0,002	0,004	0,005	0,007	0,002	0,028	0,049	0,035	0,059	0,053
среднеквадратичное отклонение	0,098	0,084	0,103	0,128	0,033	1,098	0,960	0,686	1,167	1,037
коэффициент вариации	0,326	0,263	0,312	0,444	0,126	0,051	0,044	0,033	0,053	0,047
длина ряда	1554	386	397	385	388	1546	385	390	385	388

дность распределений ПОИ вдоль трасс 3,5 и 8,3 мили. Это выражается в том, что оба значения среднеквадратичных отклонений ПОИ для этих трасс близки к максимумам в районе, как и их 75 %-ные квантили и коэффициенты вариации. На трассе 3,5 мили отмечены максимумы для полосы вод, средних значений ПОИ и 25 %-ного квантиля. По T трасса 3,5 миль выделяется: минимумами в полосе вод – величины T , его среднеквадратичного отклонения, 25 и 75 %-ных квантилей, коэффициентом вариации, а также низким средним значением T .

На 8,3 мили у значений ПОИ самый широкий диапазон изменчивости и даже на уровне 25 % вероятности она близка к таковой для всей полосы вод. На трассе наблюдались максимумы среднеквадратичных отклонений и коэффициентов вариации из всей полосы вод, как для ПОИ, так и для T .

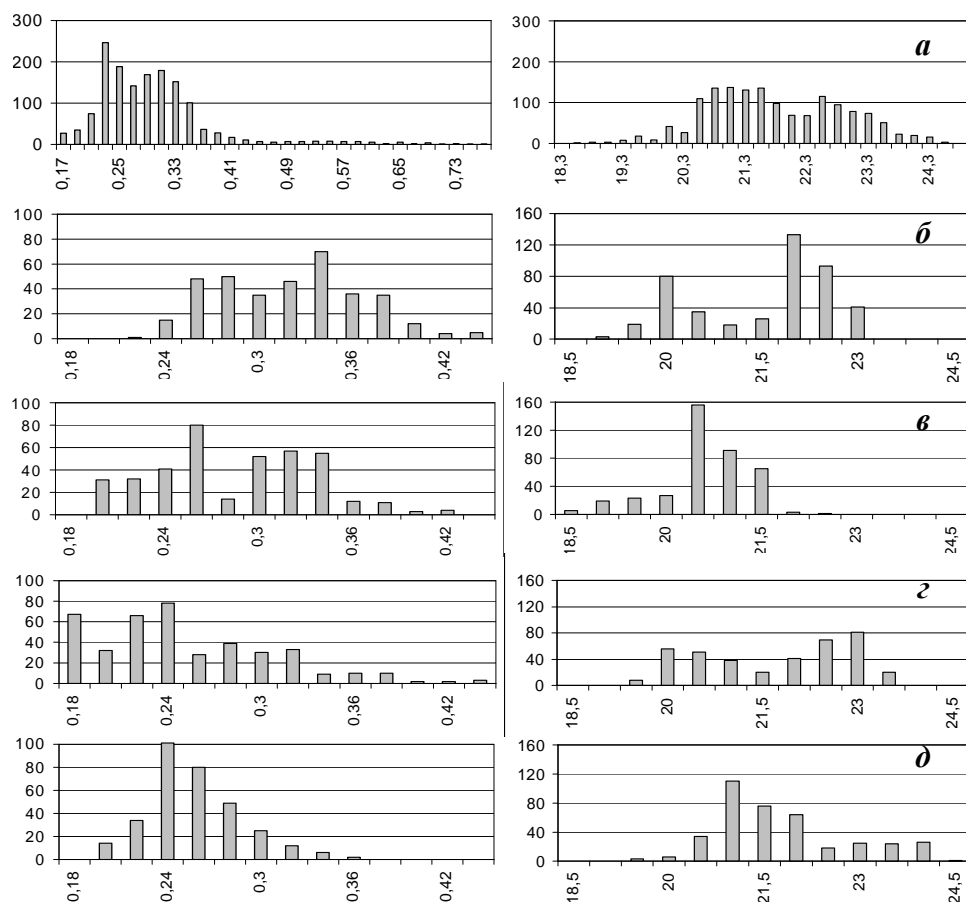
Присутствие мутных вод привело к тому, что оценки средних значений и 25 и 75 %-ных квантилей распределения вероятности ПОИ, сделанные на трассах 2,8 и 3,5 мили оказались выше, чем по всему району. В направлении от берега имеется тенденция к снижению значений ПОИ, но она выражена слабо. Только 75 %-ный квантиль ПОИ показал последовательное уменьшение оценок с удалением от берега. Ни одна другая статистическая характеристика, ни для ПОИ, ни для T , не повторяет её. Это значит, что доля мутных вод в направлении в море снижается, но только при их оценке на уровне более чем 25 %-ная вероятность.

Плотность вероятности распределения (экспериментальные законы распределения). Для всей полосы графики плотности вероятности распределений ПОИ и T (ниже, гистограммы) асимметричны, отличны по форме от нормального закона распределения. В них заметно формирование на основе двух отдельных, но близких совокупностей** (рис.3). Гистограмма ПОИ имеет пологий склон со стороны больших значений и крутой – со стороны малых значений. Гистограмма T характеризуется плавными вариациями во всем диапазоне изменения: максимум частоты значений в разрядах мод у T в два раза меньше, чем у ПОИ. При этом оба графика, для ПОИ и для T , имеют по две не равноценные моды. Первой модой ПОИ полосы (более острый и узкий максимум) выделяются относительно «прозрачные» воды (в разрядах $0,23 - 0,25 \text{ м}^{-1}$). Вторая мода (в разрядах $0,31 - 0,33 \text{ м}^{-1}$) выделена небольшим превышением над соседними разрядами.

Первая мода T («холодные» воды) в отличие от ПОИ выделена максимумом с пологими склонами, мало меняющейся частотой в пределах 4 разрядов, $20,8 - 21,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Зато вторая мода («тёплые» воды) отделенная широким провалом частоты (в 3 – 4 разряда) от максимума «холодных» вод (разряд $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$) хорошо выделяется.

Гистограммы трасс различны, но имеют и «родственные», связывающие

**В интересах большей наглядности анализа графическое представление графиков плотности вероятности гидрофизических характеристик сделано с соблюдением определённых правил. Графики не нормированы, что оправдывается близким объёмом каждой выборки на трассах или общих совокупностей ПОИ и T , а также возможностью проследить изменения уровня частоты гистограмм. Число разрядов для построения графиков, на которые разбиты диапазоны общих совокупностей ПОИ и T , и соответствующие выборки для отдельных трасс выбраны равными или очень близкими. Для каждой из гидрофизических характеристик на всех трассах выбраны одинаковые шкалы частоты и величин значений.



Р и с . 3. Экспериментальные законы распределения ПОИ (слева) и T (справа) по 4-м трассам (а) и на трассах 2,8 (б); 3,5 (в); 8,3 (з) и 12,5 (д) мили.

их черты. На гистограммах ПОИ выделяется преобладание доли относительно «прозрачных» вод (разряды $0,24 - 0,28 \text{ м}^{-1}$). С самой высокой частотой они проявляются на трассе 12,5 мили. В направлении к берегу величина частоты этих вод на гистограммах снижается. На трассе 2,8 мили это уже только воды второй моды. Таким образом, «прозрачные» воды открытого моря в заметном количестве приближаются к берегу ближе 5 км. Относительно «мутные» воды имеют меньшее распространение в обратном направлении. Как первая мода, они представлены только на трассе 2,8 мили. На 3,5 милях они уже только вторая мода распределения. Доля их на трассе 8,3 мили оцениваться ещё ниже. А второй модой здесь становятся наиболее прозрачные воды района (разряд $0,18 \text{ м}^{-1}$). На трассе 12,5 мили ПОИ одномодально, «мутные» воды уже не выделяются отдельным максимумом. Величины частоты максимумов гистограмм ПОИ остаются на одном уровне, порядка 80, что является свидетельством устойчивого влияния формирующего оптические свойства механизма во всей полосе вод.

Гистограммы T отдельных трасс указывают на преимущественное содержание в них «холодных» вод. Выделяющие их значения максимумов колеблются от трассы к трассе в диапазоне $20 - 21 \text{ }^\circ\text{C}$. «Тёплые» воды вы-

делены первой модой только на 8,3 мили (разряд 23 – 23,5 °С). На трассе 2,8 мили основной максимум составляют воды близкие к «тёплым» – максимум в разряде 22 – 22,5 °С (в сравнении со средним для района распределением этот разряд лежит между основными модами). На трассах 3,5 и 12,5 мили среди основных мод отсутствуют «тёплые» воды. Максимум частоты на отдельных гистограммах T по направлению от берега колеблется, но, в общем, снижается.

Из последовательности изменений вида гистограмм ПОИ и T для трасс (рис.3) следует, что в направлении поперёк полосы (от 2,8 к 3,5 мили) воды стали прозрачнее, но доля относительно «мутных» вод осталась значительной. При этом от 2,8 к 3,5 мили произошло «остывание» (гистограмма сместилась к «холодному» концу диапазона, стала одномодальной), с появлением наиболее «холодных» вод. Затем от 3,5 к 8,3 мили появились наиболее «прозрачные» воды и ещё более снизилась доля «мутных». «Прогрев» от 3,5 к 8,3 мили сопровождался одновременным появлением «холодных» вод (распределение вероятностей вновь стало двухмодальным). Далее (от 8,3 к 12,5 мили) «прозрачные» воды стали преобладающими, а доля «мутных» вод сократилась. «Прогрев» здесь продолжался. В результате на 12,5 милях появились самые «тёплые» для полосы воды.

Поля ПОИ и T согласуются между собой в том, что оба свойства выделяют трассы 3,5 и 8,3 мили в полосе вод как проявляющие наиболее высокую изменчивость. При том, что максимумы значений ПОИ и T оказались на разных трассах, смещение в направлении поперёк полосы достигает десятка километров.

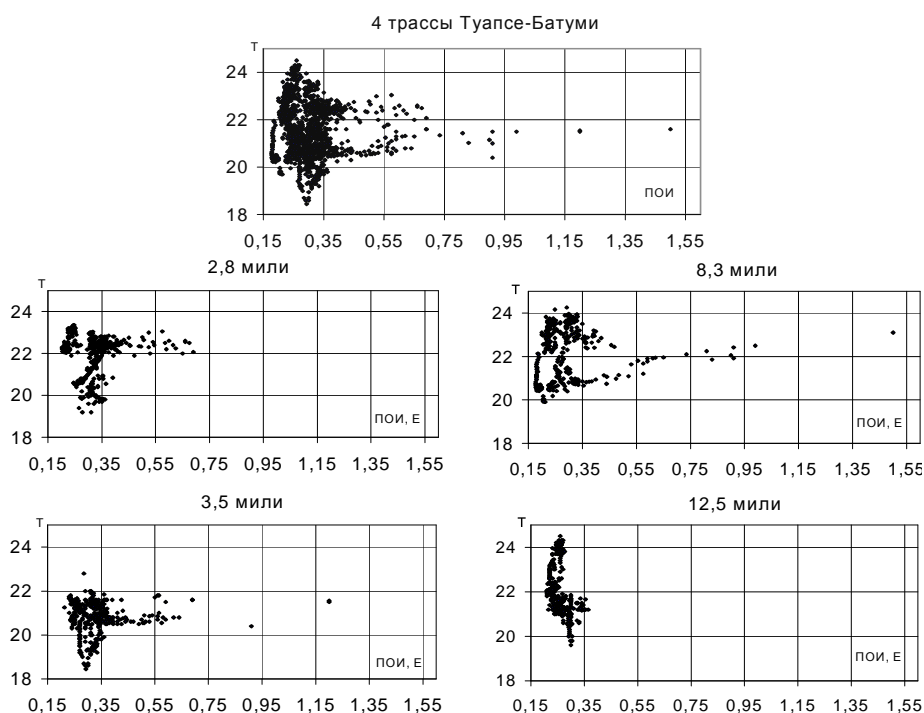
Таким образом, и графики плотности вероятности подтверждают деление общей совокупности и по ПОИ, и по T на две почти равные половины. По гистограммам качественно и количественно прослеживается, что и как изменяется от трассы к трассе в каждой из двух составляющих, в термической и оптической характеристике вод.

εt-диаграммы. В районе наблюдается широкий спектр разнообразия последовательностей сочетания ε и t на плоскости диаграмм (рис.4). Коррелированные последовательности точек образуют вытянутые под некоторым углом к осям координат сгущения. Покажем, что и вся остальная часть совокупностей не менее информативна.

В рассматриваемой примере отмечаются участки, где точки выражают два различных вида корреляции: с относительно слабой зависимостью ПОИ от T (в диапазоне T 18,5 – 22,5 °С и ПОИ 0,30 – 0,35 м⁻¹, на трассе 3,5 мили) и с более сильной (вдоль трассы 8,3 мили, T 21 – 22 °С и ПОИ 0,35 – 0,55 м⁻¹). В диапазоне T 21 – 22 °С, значения ПОИ 0,25 – 0,55 м⁻¹ наблюдались редко, при этом, самые прозрачные воды имели именно такую T (трасса 8,3 мили).

На εt -диаграммах выделяются участки, где при изменениях T в диапазоне величиной до 1,5 – 2,5 °С значения ПОИ остаются неизменными: вертикальные цепочки до 30 – 50 точек. Наблюдаются такие независимые от T , случайные значения ПОИ в диапазоне изменений T 20 – 21 и 22 – 23 °С.

Все эти особенности распределения сразу выделяются на диаграммах из совокупностей отдельных трасс. Затем их можно чётко определить и на горизонтальных профилях ПОИ и T (рис.1). По εt -диаграмме выявляется вид и



Р и с . 4 . *et*- диаграммы ПОИ и *T*.

уровень взаимосвязи, характер и длина одинакового уровня коррелированности участков. Затем их можно выделить на профиле.

Как правило, совокупности точек неравномерно заполняют плоскость диаграмм. Это свидетельствует о существенном отличии распределений свойств от нормального закона. Преобладающая часть точек совокупностей диаграмм, как для полосы, так и для каждой трассы, сосредоточена в области более прозрачных вод диапазона. В диапазоне от 0,17 до 0,35 м⁻¹ около 90 %, при полном диапазоне изменчивости ПОИ в несколько раз большем (до 1,6 м⁻¹) (рис.4). В отличие от «мутных», «прозрачные» воды распределены в диапазоне $T = 20 - 23$ °С более или менее равномерно и вытянуты параллельно оси *T* (по ординате), что утверждает независимость в них значений ПОИ и *T*. При этом, в области с «прозрачными» водами выявились неоднородности плотности совокупности их распределения. Например, величины ПОИ $\approx 0,2$ и $\approx 0,28$ м⁻¹ в них почти не встречаются. Эта особенность не обнаружила себя в других представлениях. «Мутные» воды ($> 0,4$ м⁻¹) неравномерно заполняют на *et*-диаграмме почти такое же пространство, что и «прозрачные». Так, часть пространства в средней части диапазона $T = 21 - 22$ °С, между значениями ПОИ = 0,35 – 0,55 м⁻¹ осталось незаполненной. Значительные помутнения вод сосредоточены только в двух отдельных температурных интервалах (22 – 23 и 20 – 21 °С), что, вероятно, отвечает тому же числу существующих в исследованной полосе вод видов источников примесей.

При полном диапазоне изменения *T* около 6 °С (18,45 – 24,5 °С), основная доля точек сконцентрирована только в пределах 3 °С (20 – 23 °С). У концов диапазона *T* интервал значений ПОИ сужается, стремясь к величинам 0,28 – 0,30 м⁻¹, что соответствует второй моде распределения для района

(рис.3). Более широкий, полный диапазон T – свидетельство воздействия динамических процессов небольших масштабов: прибрежных источников сброса вод или локальных динамических вихревых образований вблизи материкового склона (прибрежные сгонно-нагонные явления, процессы подъёма и опускания вод в вихревых элементах динамики вод). Обычно воды внешних источников обладают коррелированностью изменений ПОИ и T .

Доля «мутных» вод на трассах 2,8; 3,5 и 8,3 мили изменяется незначительно (рис.4). Относительно «тёплые» и «мутные» воды были отмечены для трасс 2,8 и 8,3 мили. «Холодные» (20,5 – 21,5 °С) – на трассах 3,5; 8,3 и 12,5 мили. С ростом величины ПОИ увеличивается разряжение точек, что указывает на небольшую протяжённость вдоль трасс источников (точечный характер) концентрированного содержания примеси, что согласуется с рис.1. Доля относительно «мутных» вод уменьшалась в направлении от берега в море. Вместе с этим, в неоднородностях существенно снижались величины максимумов ПОИ (рис.4).

Равенство количества точек на трассах, одинаковые масштабы делений на координатных осях графиков делают et -диаграммы удобным инструментом сравнения трасс. Например, степень неоднородности можно количественно оценивать по разнице в величине площадей, занимаемых соответствующими совокупностями (рис.4). Диаграмму трассы 8,3 мили выделяет из остальных наибольшая степень неоднородности: наибольший разброс точек на et -плоскости. Без учета этой трассы уменьшение степени неоднородности в направлении от берега в море происходило бы в последовательности 2,8 → 3,5 → 12,5 мили. Отсюда следует, что в направлении берег – открытое море в полосе вод обнаруживаются две зоны локализации неоднородностей или два рода источников примесей. Условно их можно называть «морскими», с максимумом вблизи трассы 8,3 мили и «прибрежными» – ближе трассы 2,8 мили. «Холодным» «морским» источникам примесей, вероятнее всего, отвечают подъёмы вод вихревыми циклоническими структурами, «тёплым» – сгон прибрежных вод, более прогреваемых в летний период у берегов. По et -диаграммам отмечается, что длина участков «тёплых» («прибрежных») «мутных» вод снижается с удалением трассы наблюдений от берега. На расстоянии в 12,5 миль их не отмечено вовсе.

Согласно et -диаграммам, в районе преобладали источники примесей «морского» формирования – с «холодными» водами (et -диаграмма трассы 8,3 мили). «Прибрежные» источники относительно остальной части совокупности были «тёплыми» (et -диаграмма трассы 2,8 мили).

Таким образом, через et -диаграммы удаётся наглядно оценивать и сравнивать в целом уровень однородности, положение и состав каждого массива данных друг относительно друга, а также обнаруживать структурные особенности распределений. По et -диаграммам устанавливаются формальные признаки общности и различия свойств, механизмов проявления неоднородностей ПОИ у поверхности.

Наглядность представления материалов буксировки как статистических объектов в виде et -диаграмм позволяет выделять особенности собственных и взаимных распределений обеих физических характеристик. С их применением сравнение статистических массивов становится более простым и продуктивным, а анализ данных – более эффективным и надёжным. С применением диаграмм неоднородности вод получают более полное описание

различий или общности свойств на каждом участке наблюдений, что даёт возможности более подробно и точно их интерпретировать.

Основные выводы. В работе показано, что изучение состояния вод по одновременным измерениям ПОИ и T гораздо продуктивнее, чем если бы эти характеристики были бы получены по отдельности.

Впервые, благодаря своему составу, материалы измерений использованы для представления в виде et -диаграмм. Наглядное и простое по исполнению представление данных на et -плоскости по взаимному состоянию или изменению обоих свойств на трассах наблюдений даёт возможности одновременного оценивания и общих, и локальных особенностей распределений свойств в морской среде.

Последовательное применение различных методов анализа позволяет разносторонне использовать результаты совместных и одновременных измерений двух океанологических характеристик, выделить из всех неоднородностей те, которые формируются определёнными процессами. При этом особенности состояния вод используются полнее, с большей надёжностью выделяются, получая свои оценки в зависимости от состояния обоих контролируемых свойств морской среды. Различным образом выделенные особенности распределения оцениваются объективнее, что повышает уровень надёжности выводов.

В полосе вод и вдоль трасс наблюдений исследована пространственная изменчивость свойств в направлении от берега и вдоль побережья в зависимости от дистанции и от происходящих в пределах полосы вод динамических процессов.

Установлено, что с удалением от берега постепенно снижается доля более «мутных» вод. Выделены два рода источников примесей, на отдельных участках. Отмечены участки проникновения «прозрачных» вод открытого моря ближе 5 км. Вдоль полосы обнаружено постепенное изменение характера неоднородностей. Оценены характер и форма неоднородностей, связанных с прибрежным сбросом вод, а также под влиянием динамики – вергенциями вод в вихревых образованиях вдольберегового потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А.* Структура поля прозрачности и особенности её формирования в поверхностном слое вод прибрежной зоны кавказского побережья в весенне-летний период // *Океанология.*– 2001.– 41, №6.– С.815-826.
2. *Иванов А.* Введение в океанографию.– М: Мир, 1978.– 574 с.
3. *Безносков В.Н.* Воздействие антропогенных нарушений гидрологической структуры на водные экосистемы и их возможное влияние на биохимический цикл углерода // *Метеорология и гидрология.*– 1998.– 12.– С.73-77.
4. *Большаков В.С.* Трансформация речных вод в Чёрном море.– Киев: Наукова думка, 1970.– 328 с.
5. *Справочник по вероятностным расчётам.*– М.: Воениздат, 1970.– 536 с.
6. *Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б., Удодов А.И., Лантев С.Ю.* Динамика вод и изменчивость температуры вод у северокавказского побережья Чёрного моря // *Океанология.*– 1996.– 36, №3.– С.355-363.

Материал поступил в редакцию 2.02.2005 г.
После доработки 28.03.2005 г.