

Поле содержания растворенного органического вещества в Таганрогском заливе (Азовское море)

П. Д. Ломакин

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: p_lomakin@mail.ru*

Поступила в редакцию 10.07.2018 г., после доработки – 17.07.2018 г.

На основе фактических и климатических океанологических данных получены представления о структуре поля содержания растворенного органического вещества в Таганрогском заливе, от устья реки Дон до прилегающей акватории Азовского моря. Рассмотрены свойства естественного маргинального фильтра устьевой зоны Дона и стокового фронта залива. В дельте Дона обнаружены существенные неоднородности в поле содержания рассматриваемой характеристики с концентрацией, превышавшей природную норму, что может быть вероятным следствием антропогенных источников этого вещества, связанных со сточными водами населенных пунктов. Вдоль мористой части устьевой области Дона в узкой прибрежной полосе шириной около 0,5–1,0 мили в поле растворенного органического вещества обнаружен отчетливо выраженный фронтальный раздел – естественный маргинальный фильтр. Поперек этого образования концентрация растворенного органического вещества резко падала по направлению к открытой части моря. На фильтре задерживалось до 50% растворенных органических веществ, которые поступали в морскую область дельты Дона. Выявлено, что соленость воды и содержание растворенного органического вещества в области маргинального фильтра связаны тесной обратной корреляционной зависимостью с коэффициентом $-0,87$. Показано, что концентрация растворенного органического вещества в Таганрогском заливе уменьшается между маргинальным фильтром и стоковым фронтом от 20 до 3 мг/л и что полная трансформация насыщенных растворенным органическим веществом вод залива наблюдается на стоковом фронте, который в течение преобладающей части года располагается на выходе из залива. Мористее внешней границы фронта (изохалина 10 единиц практической солености) для полей солености и содержания растворенного органического вещества характерна пространственная однородность с типичными для открытых вод Азовского моря соленостью 10–13 единиц практической солености и концентрацией растворенного органического вещества 1–3 мг/л. Установлено, что всем участкам исследованной акватории свойственна слабо выраженная вертикальная стратификация поля концентрации растворенного органического вещества.

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, маргинальный фильтр, стоковый фронт, река Дон, Таганрогский залив.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственных заданий по темам № 0827-2014-0011 «Исследования закономерностей изменений состояния морской среды на основе оперативных наблюдений и данных системы диагноза, прогноза и реанализа состояния морских акваторий» и № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гидр-технологий».

Для цитирования: Ломакин П. Д. Поле содержания растворенного органического вещества в Таганрогском заливе (Азовское море) // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 6. С. 501–514. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-501-514

Field of the Dissolved Organic Matter Content in the Taganrog Bay (the Sea of Azov)

P. D. Lomakin

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Based on the actual and climatic oceanological data, obtained are the notions on composition of the field of the dissolved organic matter content in the Taganrog Bay, from the River Don mouth to the Azov Sea adjacent water areas. The features of the natural marginal filter of the Don mouth and the runoff waters in the bay are considered. Significant heterogeneity in the field of the considered characteristic (its concentration exceeds the natural standard in the Don mouth) is revealed, that can, probably, be a consequence of the dissolved organic matter anthropogenic sources, in other words, waste waters from the settlements. The pronounced frontal section, i.e. a natural marginal filter, has been revealed in the field of the dissolved organic matter concentration. It was located along the maritime part of the River Don mouth within the narrow coastal strip (its width is approximately 0.5–1.0 miles). Across this natural marginal filter, the dissolved organic matter concentration reduced abruptly towards the open sea. Up to 50% of the dissolved organic matter brought to the marine part of the Don mouth remained on the filter. It is revealed that salinity and the dissolved organic matter content in the marginal filter area are closely bound by the backward correlation dependence with the coefficient -0.87 . It is shown that the dissolved organic matter concentration in the Taganrog Bay decreases in the area between the marginal filter and the runoff front from 20 to 3 mg/l, and complete transformation of the bay waters saturated with the dissolved organic matter is observed in the runoff front which, in course of the major part of a year, is located at the bay outlet. Seaward off the front external boundary (isohaline 10 PSU), the fields of salinity and dissolved organic matter content are characterized by spatial homogeneity with the 10–13 PSU salinity and the dissolved organic matter concentration 1–3 mg/l which are typical of the Azov Sea open water areas. It is found that weakly pronounced vertical stratification of the field of the dissolved organic matter concentration is peculiar to all the water areas under investigation.

Keywords: dissolved organic matter, marginal filter, runoff front, River Don, Taganrog Bay.

Acknowledgements: the investigation is carried out within the framework of the state tasks on the themes № 0827-2014-0011 “Studies of regularities of the marine environment state changes based on the operational observations and the data of the nowcast, forecast and reanalysis system of the marine areas state” (code “Operational oceanography”) and № 0827-2014-0010 “Complex interdisciplinary studies of the oceanologic processes conditioning functioning and evolution of the ecosystems in the Black and Azov seas based on modern methods of the marine environment control and grid technologies” (code “Fundamental oceanology”).

For citation: Lomakin P. D., 2018. Field of the dissolved organic matter content in the Taganrog Bay (the Sea of Azov). *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, [e-journal] 34(6), pp. 501–514. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-501-514 (in Russian).

Введение

Основной источник поступления растворенного органического вещества (РОВ) в прибрежную зону морей и океанов связывают с речным стоком [1–4]. Природное содержание этого вещества в речной воде изменяется в интервале 20–50 мг/л [5, 6], тогда как в морских и океанских водах концентрация РОВ существенно ниже. Так, согласно [7] (данные инструментальных наблюдений), в верхнем слое вод центральной части Черного моря характерная концентрация этого элемента около 2 мг/л. По расчетным оценкам, примерно такая же концентрация РОВ свойственна водам Атлантического и Тихого океанов. В Балтийском и Каспийском морях она изменяется в интервале 5–6 мг/л, а воды Азовского моря отличаются повышенной концентрацией этого вещества – до 10 мг/л.

Отметим также, что рассматриваемый параметр водной среды относят к одному из наиболее эффективных индикаторов качества прибрежных морских вод и широко используют в практике решения оперативных экологических задач [8, 9].

Вместе с тем в силу отсутствия массовых эмпирических сведений о содержании РОВ в базах океанологических данных поле этого элемента в океанах и морях с позиции классической океанографии изучено недостаточно. Это также относится и к акватории Азовского моря, воды которого максимально насыщены РОВ, а эмпирические сведения о его концентрациях отсутствуют. По крайней мере, их нет в базе данных климатического атласа Азовского моря [10].

Цель настоящей работы – выявить закономерности структуры и сезонных вариаций поля концентрации РОВ, а также его трансформации в Таганрогском заливе, от речной части дельты р. Дон до открытых вод Азовского моря. Исследована относительно небольшая акватория, принимающая значительный объем этого вещества со стоком впадающих в залив рек. Кроме р. Дон сюда впадают реки Кальмиус, Миус и Ея (рис. 1, заимствован из [10] и адаптирован к решаемой задаче). Рассмотрен естественный маргинальный фильтр устьевой зоны. Оценены его геометрические параметры, фильтрационные свойства, термохалинные характеристики. Отслежена трансформация РОВ в основных рукавах р. Дон, на естественном маргинальном фильтре в устье Дона, на всей акватории Таганрогского залива и стоковом фронте, разделяющем залив и открытые воды Азовского моря. Проанализированы поля РОВ, характерные для межени и паводка.

Исходные данные и методы исследования

В ситуации недостатка или при отсутствии данных натуральных наблюдений РОВ в океанах и морях задача по определению его содержания существенно упрощается в связи с наличием тесной природной статистической связи между соленостью и его концентрацией на незагрязненных акваториях [11–16]. В предлагаемой работе для построения средних месячных климатических полей содержания РОВ использован методический прием дополнения недостающих натуральных наблюдений их расчетными значениями.

С начала текущего столетия в экспедиционных исследованиях Морского гидрофизического института (МГИ) активно применяется оптический зонд «Кондор» [17], позволяющий с хорошей точностью и дискретностью по вертикали синхронно *in situ* отслеживать термохалинные характеристики в комплексе с нетрадиционными для классической океанографии сведениями о концентрации общего взвешенного и растворенного органического вещества. Подобные зонды широко применяются в мировой практике океанологических и гидрологических эмпирических исследований в течение последних 20–30 лет [18–20].

Содержание РОВ оценивалось по концентрации растворенного органического углерода, измеряемой флуоресцентным методом (*fDOM*) (*ex370/em460*) с калибровкой в стандартах *quinine sulfate equivalents* (*QSE*) и пересчетом в весовые единицы в соответствии с рекомендациями компании *Water Quality Sampling and Monitoring Meters and Instruments*, а также по массиву результатов сличения с прямым методом высокотемпературного каталитического сжигания ($R^2 = 0,74$). Полученные коэффициенты использованы при обработке первичной информации.

**Данные экспедиционных исследований МГИ в Азовском море
с фиксацией содержания РОВ**
**Data of MHI expeditionary studies in the Azov Sea, dissolved organic matter
content**

Район/Region	Дата/Date	Количество станций/ Quantity of Stations	РОВ, мг/л/ DOM, mg/l
Устье р. Дон/ Don mouth	Июнь 2015 г./June, 2015	44 (река)/ (river) 11	40–62 16–42
Северная часть моря/ Northern part of the sea	Сентябрь 2002 г. – июнь 2013 г./ September, 2002 – June, 2013	37	3–22
Западная часть моря/ Western part of the sea	Июнь 2013 г./June, 2013	13	1–3
Южная часть моря/ Southern part of the sea	Август 2003 г. – август 2014 г. / August, 2003 – August, 2014	59	1–3
Центр моря/ Center of the sea	Сентябрь 2002 г./ September, 2002	12	1–3
Озеро Сиваш/ Lake Sivash	Июнь 2013 г. – октябрь 2016 г./ June, 2013 – October, 2016	23	1–4

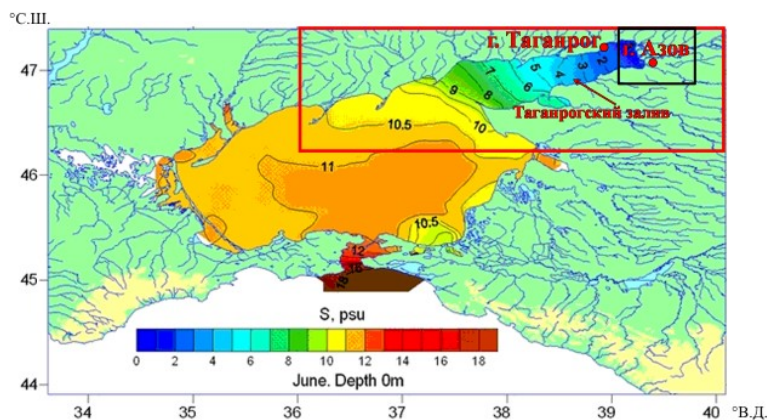
Соответствующие фактические данные, накопленные МГИ в ходе экспедиций в Азовское море (таблица), послужили основой для начала океанологического исследования поля РОВ.

В настоящее время база данных по этому элементу для Азовского моря включает 199 зондирований, которые крайне неравномерно распределены по акватории. В частности, интересующая информация имеется только по участку Таганрогского залива, примыкающему к устью Дона. Для преобладающей части исследуемой акватории она отсутствует (таблица).

Недостаток соответствующих эмпирических сведений компенсирован использованием расчетного метода при помощи полученного простейшего линейного уравнения, связывающего концентрацию РОВ с соленостью на участке исследуемой акватории между устьем Дона и мористой границей Таганрогского залива.

Фактическое поле концентрации РОВ в устье Дона проанализировано на базе материалов экспедиции, проведенной МГИ 11–15 июня 2015 г. Данные о РОВ на мористой границе Таганрогского залива рассчитаны через поле солености по средним месячным схемам солености, взятым из климатического атласа [10]. Для этого использовано уравнение линейной регрессии, связывающее концентрацию растворенной органики с соленостью в водах Азовского моря, которые не подвержены влиянию речного стока [16].

При интерпретации элементов структуры и изменчивости полей гидрофизических величин и поля содержания РОВ в устье Дона были привлечены сведения о синоптической ситуации, а также данные из сайтов Интернета [21, 22] о ветре и уровне моря на двух гидрометеорологических постах – п. Азов и п. Таганрог. Первый пост расположен непосредственно в дельте Дона (южный судоходный рукав Дон), второй (морской) – ближайший к ее взморью (рис. 1).



Р и с. 1. Исследуемая акватория (в красной рамке) и полигон съемки МГИ в дельте р. Дон (в черной рамке) на климатической карте солености на поверхности Азовского моря в июне [10]
F i g. 1. Water area under study (in the red frame) and the MHI survey polygon in the River Don mouth (in the black frame) on the salinity climatic map of the Azov Sea surface in June [10]

Обсуждение результатов

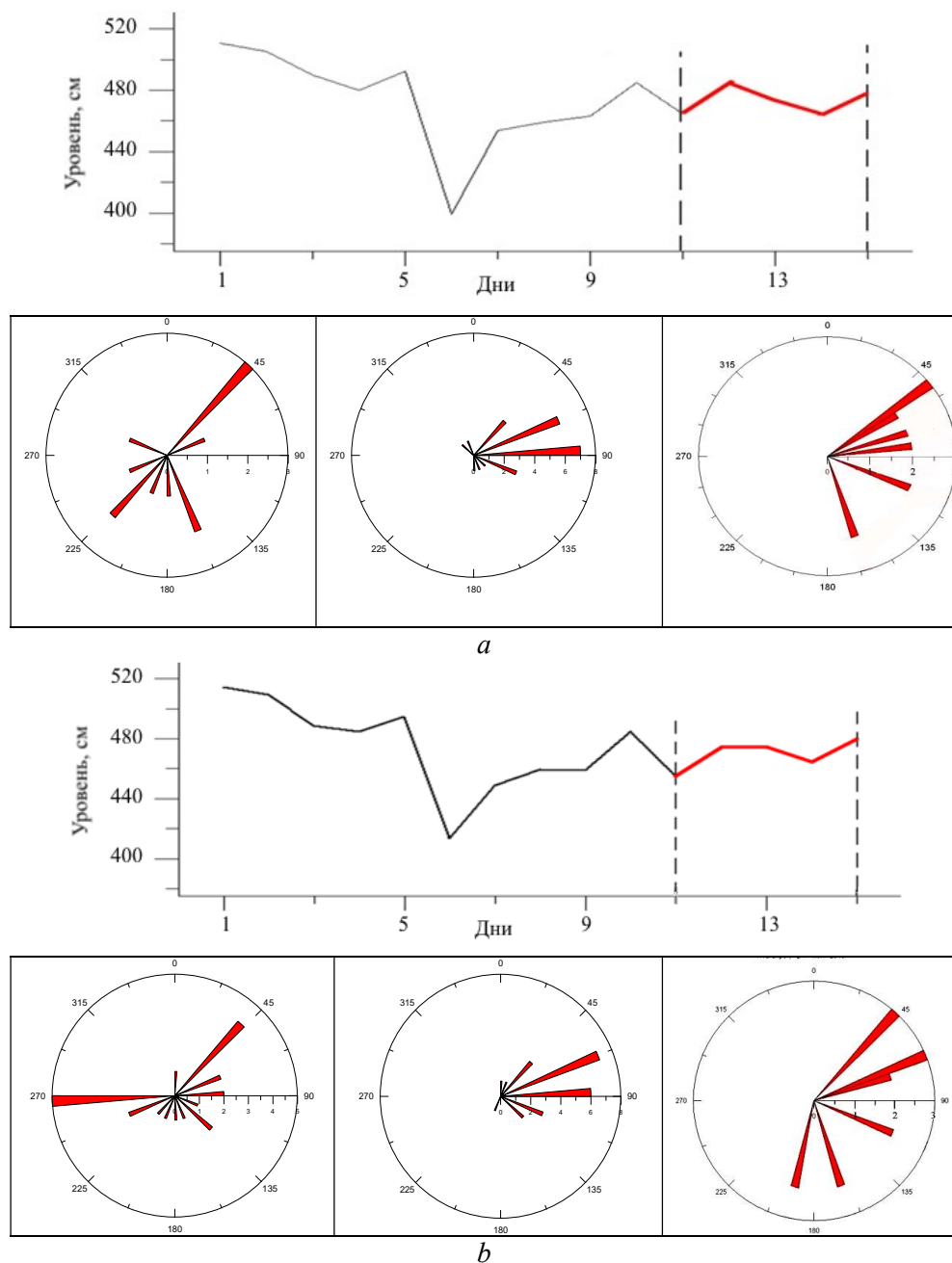
Наиболее значимые факторы, определяющие динамику вод и существенно деформирующие структуру полей гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических элементов в дельте Дона, обусловлены ветровыми сгонно-нагонными процессами, которые достаточно хорошо изучены и описаны в лоции исследуемого региона и научной литературе [23–26]. В частности, известно, что в Таганрогском заливе и восточной части Азовского моря ветры с восточной составляющей вызывают сгон вод, с западной составляющей – нагон и соответственно – характерную циркуляцию вод в заливе и дельте Дона.

То есть анализируемые данные экспедиции в устье Дона, как и любые другие фактические океанологические сведения, касающиеся исследуемого региона, содержат синоптическую составляющую. И при условии ее значимости эти данные нельзя сочетать с климатическими средними месячными величинами, в массивах которых этот компонент отфильтрован операцией осреднения.

Для оценки значимости ветровой составляющей ниже представлен анализ колебаний и формы урвненной поверхности в Таганрогском заливе в зависимости от синоптической атмосферной ситуации и ветра до и во время выполнения съемки в дельте Дона.

В конце мая 2015 г. погода в регионе определялась передней частью заполнявшегося циклона с центром над севером Украины. Умеренные и сильные нагонные юго-западные ветры скоростью 6–11 м/с, которые наблюдались

29 и 30 мая, способствовали подъему уровня водной поверхности на взморье и в рукавах дельты Дона до 534 и 536 см соответственно (рис. 2).



Р и с. 2. Ход уровня моря по данным гидрометеопоста Таганрог и розы ветра, соответствующие его основным фазам в июне 2015 г. – *a*; эти же характеристики для рукава Дон по данным гидрометеопоста Азов – *b*

Fig. 2. Sea level variation based on the Taganrog hydrometeorological station data and wind roses corresponding to its basic phases in June, 2015 – (*a*); the same characteristics for the Don branch based on the Azov hydrometeorological station data (*b*)

В первые три дня июня произошла смена естественного синоптического процесса, которая сопровождалась разворотом вектора ветра к северо-востоку. На рассматриваемую акваторию распространилось влияние восточной периферии гребня Азорского максимума, вызвавшей сгонные умеренные ветры восточной четверти скоростью 3–7 м/с и заметное падение уровня воды 6 июня до минимальных отметок – 381 см в п. Таганрог и 396 см в п. Азов. Затем при той же синоптической ситуации, но за счет уменьшения горизонтального барического градиента в регионе установилась погода со слабым (1–3 м/с) ветром восточной четверти, чередовавшимся со штилями. В результате исчез сгонный эффект, а уровень воды в обоих пунктах 6–10 июня вырос до 494 и 499 см и позже находился в стабильном состоянии. В течение съемки в обоих пунктах он практически синхронно колебался относительно этих отметок с небольшим суточным размахом, убывая во времени от 25 до 10 см.

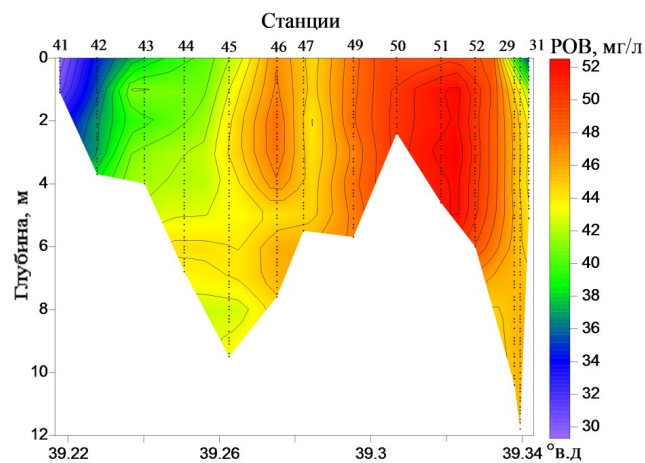
Съемка выполнена в условиях преобладавшего юго-восточного ветра скоростью 2–4 м/с (рис. 2). В ее начале (11, 12 июня) средний суточный уровень моря в п. Таганрог превышал уровень в п. Азов на 10–11 см. Со временем наклон уровенной поверхности изменился на противоположный. Во второй половине съемки, 13–15 июня, средний суточный уровень моря в п. Таганрог был ниже уровня в п. Азов на 1–2 см.

То есть во время съемки форма уровенной поверхности в дельте Дона и в Таганрогском заливе была близка к горизонтальной и незначительно деформировалась во времени. Это свидетельствует о практически полном отсутствии в полях зафиксированных величин составляющей, которая определялась ветровым сгонно-нагонным эффектом, а также о том, что наблюдавшиеся в ходе экспедиции фактические океанологические поля по своим структурным признакам были близки к климатическим средним месячным распределениям для июня.

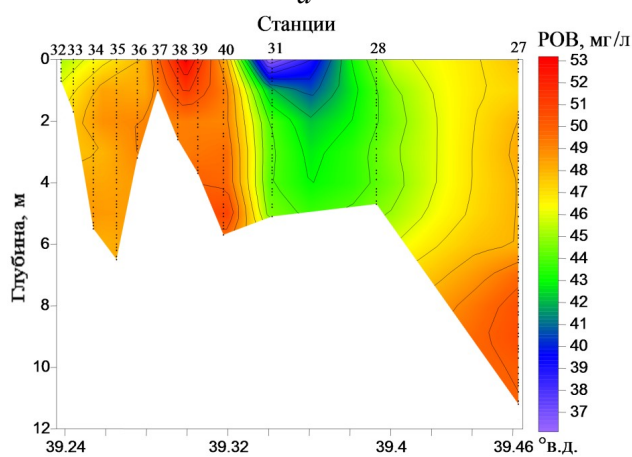
Поле концентрации РОВ в речных рукавах и на взморье Дона характеризовалось следующими основными свойствами. Речные воды отличались относительной однородностью по вертикали. На удаленных от устья участках они были слабо стратифицированными. Небольшой вертикальный градиент различного знака в отдельных прослойках как следствие взаимодействия речных вод с водами взморья отмечен на подходе к морю на расстоянии 1–2 мили. На взморье концентрация поля исследуемого элемента слабо изменялась с глубиной (рис. 3).

В горизонтальном плане в поле содержания РОВ обнаружены заметные неоднородности. Существенные изменения концентрации этого вещества, 40–62 мг/л, отмечены вдоль речных русел. Отдельные линзы вод, насыщенные РОВ до содержания более 50 мг/л (предельная природная норма), – вероятное следствие наличия в пределах исследуемой акватории антропогенных источников данного вещества. Это могут быть сточные воды расположенных в дельте Дона населенных пунктов (рис. 3, 4).

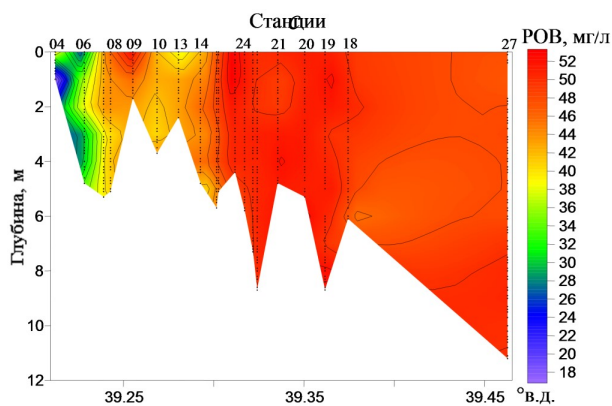
Подобные ситуации (согласно материалам экспедиций МГИ) наблюдаются, например, в Днепро-Бугском лимане и в прибрежных водах Крыма, где акватории вблизи всех без исключения населенных пунктов и даже отдельных санаторных корпусов и других объектов хозяйственной деятельности отличаются присутствием локальных максимумов содержания РОВ, превысивших природную норму.



a



b



c

Р и с. 3. Вертикальное распределение концентрации РОВ в дельте Дона 11–15 июня 2015 г.: *a, b* – в протоках несудоходного рукава Каланча; *c* – в судоходном рукаве Дон
F i g. 3. Dissolved organic matter (DOM) vertical distribution in the Don mouth on June 11–15, 2015: *a, b* – in the canals of the unnavigable branch Kalancha; *c* – in the navigable branch Don

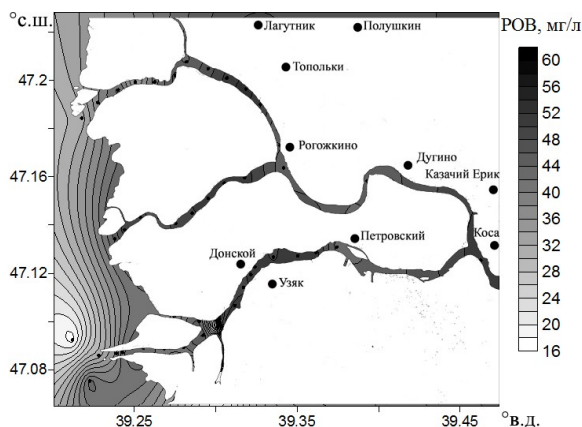


Рис. 4. Содержание РОВ в придонном слое дельты р. Дон 11–15 июня 2015 г.
Fig. 4. Dissolved organic matter content (mg/l) in the near-bottom layer of the River Don mouth on June 11–15, 2015

Горизонтальная структура поля концентрации РОВ на взморье характеризовалась наличием во всей толще вод ярко выраженного меридионально ориентированного фронта (рис. 4).

Вдоль береговой линии устьевой области Дона в узкой прибрежной полосе шириной около 0,5–1,0 мили концентрация РОВ резко падала по направлению к открытой акватории моря от 35–42 мг/л до минимальных значений 16–20 мг/л. Горизонтальный градиент содержания этого вещества на фронтальном разделе достигал 20–30 мг/л на милю. Фронт в поле РОВ располагался в пресной воде. Соленость (минерализация) в его пределах увеличивалась в сторону моря от 0,6 до 1,0 ЕПС. Температура уменьшалась в этом же направлении от 26,6 до 24,2°C.

Подобные фронтальные образования, наблюдаемые в устьях рек, называют естественными маргинальными фильтрами. Исследования, которые были выполнены на базе физической модели, а также натурных наблюдений [15, 27, 28], выявили, что в маргинальных фильтрах океанов и морей, в устьях великих рек Амазонки, Лены, Енисея, Оби задерживается до 90–95% взвешенных и 30–40% растворенных веществ и загрязнений речного стока.

Судя по перепаду концентрации РОВ на границах фильтра, в рассматриваемом случае на нем задерживалось до 50% растворенных органических веществ, содержащихся в речной воде в низовье Дона (рис. 4).

Необходимо отметить следующую интересную особенность. В северном и южном рукавах дельты Дона на расстоянии около 2–3 мили до взморья концентрация РОВ заметно падала от 60 до 40 мг/л (рис. 4). То есть фильтрационные механизмы работали как на взморье, так и в руслах реки, и на речном участке фильтра задержалось около трети от общего количества растворенной органики, которая содержалась в верховье речной части дельты.

В [15, 27, 28] показано, что естественным маргинальным фильтром впадающих в моря и океаны рек свойственна тесная обратная корреляционная зависимость содержания РОВ от солености воды с высоким коэффициентом, около $-0,90$. Аналогичное свойство выявлено и для маргинального фильтра р. Дон. В нашем случае коэффициент корреляции между соответствующими величинами оказался равным $-0,87$.

Приведенный выше результат показывает, что рассмотренная фактическая ситуация (рис. 3, 4) отражает реальное поле концентрации РОВ с его структурными элементами, типичными для дельты Дона в июне. В качестве мористой границы этой части Таганрогского залива условно может быть принята изохалина $S = 1$ ЕПС, совпадающая с изолинией концентрации РОВ, равной 20 мг/л. От этой условной границы концентрация РОВ в Таганрогском заливе по мере увеличения солёности уменьшается до 1–3 мг/л по направлению к открытым водам Азовского моря (таблица).

Согласно классическим океанологическим представлениям [29], полная трансформация свойств вод впадающих в океаны и моря рек происходит на их стоковых халинных (термохалинных) фронтах.

Стоковый халинный фронт в фактических полях солёности в течение большей части года расположен на выходе из Таганрогского залива. Он примерно совпадает с западной географической границей залива, меридионально ориентированной условной линией, проходящей вдоль кос Долгая и Белосарайская. Весной во время паводка фронт смещается в западном юго-западном направлении [30]. Аналогичное положение фронта определяют климатические данные [10]. Вместе с тем следует отметить, что в течение последних нескольких лет зафиксировано не наблюдавшееся ранее значительное повышение солёности в Таганрогском заливе до 14 ЕПС и соответствующее смещение стокового фронта на восток, в его внутреннюю область.

По средним месячным климатическим полям солёности [10] легко определить мористую границу рассматриваемого фронта в течение всего года. Она совпадает с положением изохалины 10 ЕПС, за пределами которой халинное поле в центральной части Азовского моря и у его западных и южных берегов становится более однородным в горизонтальном плане, а солёность изменяется в пределах 10–13 ЕПС (рис. 1).

На основе уравнения линейной регрессии [16], связывающего содержание РОВ с солёностью S в открытых водах Азовского моря,

$$\text{РОВ} = 30,87 - 2,78 S, \quad (1)$$

коэффициент корреляции $R_{s/\text{ров}} = -0,80$, можно определить концентрацию этого вещества на мористой границе фронта – изохалине 10 ЕПС, а также оценить фильтрационные свойства стокового фронта Дона. Элементарный расчет показывает, что на мористой границе рассматриваемого стокового фронта концентрация РОВ в его климатическом поле снижается до 3,07 мг/л.

Если учесть, что характерная концентрации РОВ в центре моря 1–3 мг/л [16], то можно утверждать, что на рассматриваемом фронте оседает практически вся растворенная органика, попадающая в Таганрогский залив с речным стоком.

Выше показано, что на восточной природной границе Таганрогского залива (маргинальный фильтр) солёности в 1 ЕПС соответствует концентрация РОВ в 20 мг/л; на западной границе стокового фронта солёности в 10 ЕПС соответствует концентрация РОВ в 3 мг/л. Эти данные позволяют легко получить линейное уравнение, связывающее анализируемые величины исследуемых средних месячных июньских полей на обозначенной акватории:

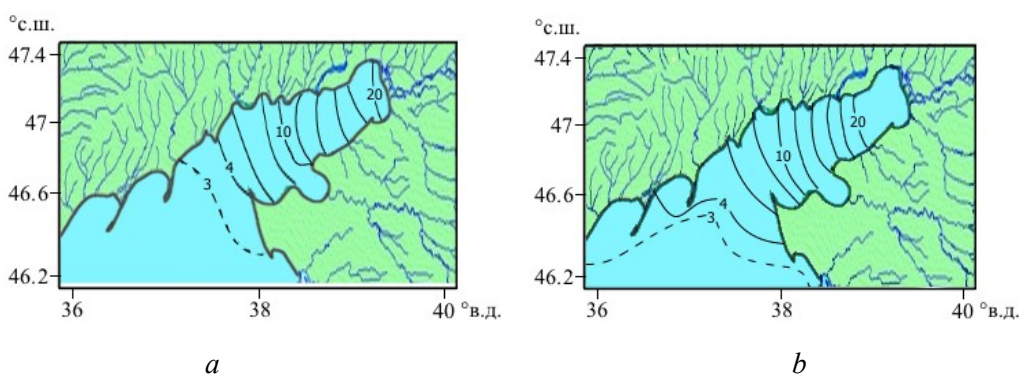
$$\text{РОВ} = 21,9 - 1,9 S. \quad (2)$$

Уравнение (2) дает возможность по среднему месячному полю солёности в Таганрогском заливе рассчитать горизонтальное среднее месячное распределение концентрации РОВ [10].

Мористая граница стокового фронта для всех месяцев года представлена изохалиной 10 ЕПС и, согласно (1), изолинией содержания РОВ в 3 мг/л. Если предположить, что концентрация РОВ и соленость на маргинальном фильтре в устье р. Дон в течение года не испытывают существенных изменений, то уравнение (2) может быть использовано для расчета климатического поля содержания РОВ в другие календарные месяцы года.

Поскольку в незагрязненных водах Азовского моря поле концентрации исследуемой величины слабо стратифицировано по глубине, всю информацию о его структуре содержат распределения на поверхности.

На рис. 5 приведены горизонтальные распределения концентрации РОВ в Таганрогском заливе в июне и марте, полученные расчетным методом на основе рассмотренного выше уравнения (2) и средних месячных распределений солености на поверхности Азовского моря [10].



Р и с. 5. Содержание РОВ (мг/л) на поверхности Таганрогского залива: *a* – в июне; *b* – в марте
F i g. 5. Dissolved organic matter content (mg/l) on the Taganrog Bay surface: *a* – in June, *b* – in March

Поле концентрации на рис. 5, *a* типично для летних месяцев, когда в межень при минимальном стоке рек в водах залива содержится минимальное количество РОВ. В начале весны, в паводок (рис. 5, *b*), количество растворенной органики терригенной природы в исследуемом регионе максимально. В это время акватория с максимальной терригенной составляющей РОВ существенно расширяется, ее естественные границы – маргинальный фильтр и стоковый фронт смещаются в сторону открытой части моря.

В паводок по сравнению с ситуацией, наблюдаемой в межень, в 4–5 раз возрастает площадь акватории с максимальным (20–40 мг/л) содержанием РОВ в морской части дельты Дона. Вследствие поступления вод из Таганрогского залива концентрация РОВ на северо-востоке и севере Азовского моря возрастает на 1–2 мг/л.

Напомним, что до недавнего времени поле содержания РОВ в Азовском море представлялось однородным с постоянной концентрацией, равной 10 мг/л.

Приведенные на рис. 5 поля касаются региона с максимальным содержанием РОВ в Азовском море. Это Таганрогский залив, где концентрация данного вещества изменяется от 40 мг/л в устьевой области Дона до 3 мг/л в открытых водах. На преобладающей части акватории моря содержание РОВ меньше в десятки раз. Это свидетельствует о существенной неоднородности поля рассматриваемого параметра водной среды в Азовском море.

Выявленные закономерности структуры относятся к средним месячным полям, тогда как фактическое поле содержания РОВ в Таганрогском заливе гораздо сложнее. По-видимому, оно также подвержено существенной временной изменчивости и требует дальнейшего исследования, в первую очередь – на эмпирическом уровне.

Заключение

На основе средних месячных полей солености, расчетных методов и фактических данных наблюдений содержания РОВ получены схемы горизонтального распределения концентрации этого вещества и выявлены закономерности структуры его поля в водах Таганрогского залива, от устья р. Дон до прилегающей акватории Азовского моря. Рассмотрены свойства естественного маргинального фильтра устьевой зоны и стокового фронта залива. Проанализированы сезонные вариации поля концентрации исследуемого элемента водной среды.

Показано, что в речных рукавах и на взморье дельты Дона вертикальная стратификация концентрации РОВ слабо выражена. Обнаруженные в речных водах существенные неоднородности в поле содержания рассматриваемой характеристики с концентрацией, превышавшей природную норму, – вероятное следствие антропогенных источников этого вещества, связанных со сточными водами населенных пунктов.

Вдоль мористой части устьевой области Дона в узкой прибрежной полосе шириной около 0,5–1,0 мили при солености 0,6–1,0 ЕПС и температуре воды 24,2–26,6°C в поле РОВ выявлен отчетливо выраженный фронтальный раздел – естественный маргинальный фильтр. Поперек этого образования концентрация РОВ резко падала по направлению к открытой части моря примерно от 40 до 20 мг/л. Горизонтальный градиент содержания РОВ на фронтальном разделе фильтра достигал 20–30 мг/л на милю. На нем задерживалось до 50% растворенных органических веществ, поступающих в морскую область дельты Дона.

В речных рукавах дельты Дона, на расстоянии около 2–3 миль до взморья, отмечено активное оседание РОВ. Здесь задерживалось около трети от общего количества растворенной органики, которое содержалось в верховье речной части дельты.

Выявлено, что соленость воды и содержание РОВ в области маргинального фильтра в дельте Дона связаны тесной обратной корреляционной зависимостью с коэффициентом $-0,87$.

В Таганрогском заливе мористее естественного маргинального фильтра концентрация РОВ убывала в западном направлении до внешней границы стокового фронта от 20 до 3 мг/л.

Полная трансформация насыщенных РОВ вод Таганрогского залива наблюдается на стоковом фронте, который в течение преобладающей части года в климатическом поле солености располагается на выходе из залива. Мористее внешней границы фронта (изохалина 10 ЕПС) полям солености и содержания РОВ свойственна пространственная однородность с характерной для открытых вод Азовского моря соленостью 10–13 ЕПС и концентрацией РОВ 1–3 мг/л.

Анализ полей концентрации РОВ для июня (межень) и марта (паводок) показал их существенную внутригодовую изменчивость, обусловленную сезонными вариациями стока впадающих в Таганрогский залив рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Insights and issues with simulating terrestrial DOC loading of Arctic river networks / David W. Kicklighter [et al.] // *Ecological Applications*. 2013. Vol. 23, iss. 8. P. 1817–1836. URL: https://globalchange.mit.edu/sites/default/files/MITJSPGC_Reprint_13-32.pdf (дата обращения: 05.07.2018).
2. *Aitkenhead J. A., McDowell W. H.* Soil C:N ratio as a predictor of annual riverine DOC flux at local and global scales // *Global Biogeochemical Cycles*. 2000. Vol. 14, no. 1. P. 127–138. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/1999GB900083> (дата обращения: 05.07.2018).
3. *Aitkenhead-Peterson J. A., McDowell W. H., Neff J. C.* Sources, Production and Regulation of Allochthonous Dissolved Organic Matter Inputs to Surface Waters // *Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter*. Academic Press, 2003. P. 25–70. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122563713500032> (дата обращения: 05.07.2018).
4. Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere / Anthony K. Aufdenkampe [et al.] // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2011. Vol. 9, iss. 1. P. 53–60. <https://doi.org/10.1890/100014>
5. *Curtis P. J., Adams H. E.* Dissolved organic matter quantity and quality from freshwater and saltwater lakes in east-central Alberta // *Biogeochemistry*. 1995. Vol. 30, no. 1. P. 59–76. URL: https://www.jstor.org/stable/1468929?seq=1#page_scan_tab_contents (дата обращения: 05.07.2018).
6. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды / О. М. Горшкова [и др.] // *Вода: химия и экология*. 2009. № 11. С. 31–37. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13921970> (дата обращения: 05.07.2018).
7. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. Киев : Наукова думка, 1971. 252 с.
8. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf / Emmanuel Boss [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. 2001. Vol. 106, no. C5. P. 9499–9507. URL: https://misclab.umeoce.maine.edu/documents/JGR_CDOM.pdf (дата обращения: 09.07.2018).
9. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) / M. Tedetti [et al.] // *Environmental Chemistry*. 2012. Vol. 9, no. 5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
10. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006. Southern Scientific Centre Russian Academy of Sciences, Russia; Murmansk Marine Biological Institute, Russia; Ocean Climate Laboratory, NODC/NOAA, USA. URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/start.html> (дата обращения: 05.07.2018).
11. *Morell Julio M., Corredor Jorge E.* Photomineralization of fluorescent dissolved organic matter in the Orinoco River plume: Estimation of ammonium release // *Journal of Geophysical Research*. 2001. Vol. 106, no. C8. P. 16,807–16,813. <https://doi.org/10.1029/1999JC000268>
12. *Harvey E. T., Kratzer S., Andersson A.* Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea // *Ambio*. 2015. Vol. 44, suppl. 3. P. 392–401. doi:10.1007/s13280-015-0658-4
13. *Ferrari G. M., Dowell M. D.* CDOM Absorption Characteristics with Relation to Fluorescence and Salinity in Coastal Areas of the Southern Baltic Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1998. Vol. 47, iss. 1. P. 91–105. doi:10.1006/ecss.1997.0309
14. From Fresh to Marine Waters: Characterization and Fate of Dissolved Organic Matter in the Lena River Delta Region, Siberia / Rafael Gonçalves-Araujo [et al.] // *Frontiers in Marine Science*. Marine Biogeochemistry. 16 December 2015. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2015.00108>
15. *Пугач С. П., Пунко И. И.* Динамика растворенного окрашенного органического вещества на шельфе Восточно-Сибирского моря // *Доклады Академии наук*. 2012. Т. 447, № 6. С. 671–674. URL: <http://naukarus.com/dinamika-rastvorenного-okrashennogo-organicheskogo-veschestva-na-shelfe-vostochno-sibirskogo-morya> (дата обращения: 05.07.2018).

16. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А.* Поле концентрации растворенного органического вещества в Азовском море и Керченском проливе на базе оптических наблюдений // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 5. С. 76–89. doi:10.22449/0233-7584-2016-5-76-88
17. Комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный «КОНДОР». URL: <http://ecodevice.com.ua/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 05.07.2018).
18. Midas CTD+Valeport Ltd., United Kingdom. URL: <https://www.valeport.co.uk/Portals/0/Docs/Datasheets/Valeport-MIDAS-CTD-plus.pdf> (дата обращения: 05.07.2018).
19. EXO2 Multiparameter Sonde. URL: <https://www.yei.com/EXO2> (дата обращения: 05.07.2018).
20. Multiparameter probe CTD 90M | Multiparametersonde. URL: <http://www.sea-sun-tech.com/marine-tech/hydrology/ctd-multiparameter-probe/ctd-90m-multiparameter-probe.html> (дата обращения: 05.07.2018).
21. Wetterzentrale. URL: <http://www.wetterzentrale.de/> (дата обращения: 05.07.2018).
22. Расписание погоды. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 05.07.2018).
23. Администрация морских портов Азовского моря, Таганрогский филиал. URL: <http://taganrog.azovseaports.ru/index.php/info/pilot/> (дата обращения: 05.07.2018).
24. *Родионов Н. А.* Гидрология устьевой области Дона / Под ред. Я. Д. Никифорова. Л. : Гидрометеоздат, 1958. 95 с. URL: <https://search.rsl.ru/search#q=Родионов%20Н.%20А.%20Гидрология%20устьевой%20области%20Дона> (дата обращения: 05.07.2018).
25. *Пономаренко Е. П., Сорокина В. В., Бирюков П. А.* Сгонно-нагонные явления в дельте реки Дон в 2007–2010 гг. и их прогнозирование // *Вестник Южного научного центра РАН*. 2012. Т. 8, № 1. С. 28–37. URL: [http://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/28-37\(Пonomarenko\).pdf](http://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/28-37(Пonomarenko).pdf) (дата обращения: 05.07.2018).
26. Дельта Дона. URL: <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/samoilov/don2.htm> (дата обращения: 05.07.2018).
27. *Лисицын А. П.* Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28938092> (дата обращения: 05.07.2018).
28. Распределение растворенного органического углерода в маргинальном фильтре реки Кеми (Белое море) в летний период / В. П. Шевченко [и др.] // *Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием 10–14 сентября 2012 г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия*. С. 279–281. URL: http://resources.krc.karelia.ru/water/doc/nwpi_symp_org_v/OV_PTZ12.pdf (дата обращения: 05.07.2018).
29. *Федоров К. Н.* Физическая природа и структура океанических фронтов. Л. : Гидрометеоздат, 1983. 296 с.
30. *Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1: Азовское море / Ю. П. Ильин [и др.]*. Севастополь, 2009. 400 с.

Об авторе:

Ломакин Павел Демьянович, ведущий научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, профессор, **ResearcherID: V-7761-2017**, p_lomakin@mail.ru