

Органическое вещество в водах российского сектора Каспийского моря

Л. В. Дегтярева^{1*}, О. И. Бакун², М. А. Очеретный¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью
«ЛУКОЙЛ-Нижевожскнефть», Астрахань, Россия

*e-mail: kaspnmiz@mail.ru

Аннотация

Цель работы заключается в анализе результатов многолетних исследований содержания растворенного и взвешенного органического вещества в водах акватории Северного и Среднего Каспия в российском секторе Каспийского моря. Проанализированы основные источники поступления органического вещества, его сезонные и межгодовые изменения, особенности его пространственного распределения и причины (сток аллохтонного органического вещества, продукционно-деструкционные процессы, температура воды, изменения уровня моря и проч.), определяющие пространственную и временную динамику содержания органического вещества. Работа написана по результатам производственного экологического мониторинга, проведенного на лицензионных участках ООО «ЛУКОЙЛ-Нижевожскнефть» в 2017–2021 гг. Количество органического вещества оценивали по органическому углероду. Установлено, что концентрация растворенного органического углерода изменялась от 0.10 до 9.30 мг/дм³ в поверхностном слое воды и от 0.10 до 9.60 мг/дм³ в придонном. Областью максимального обогащения вод органическим веществом в растворенной форме была северная часть акватории. Концентрация взвешенного органического углерода в поверхностном слое воды изменялась в интервале 0.10–23.40 мг/дм³, а в придонном – в интервале 0.05–19.40 мг/дм³. Пространственное распределение органического вещества во взвешенной форме характеризовалось сезонным смещением области максимальных концентраций к северу. Основными факторами, влияющими на содержание органического вещества в воде, является температура воды, а также концентрация взвешенного вещества в воде и водородный показатель. Уровень содержания растворенного и взвешенного органического вещества за последние 20 лет исследований не изменился. Зависимость концентрации растворенного и взвешенного органического вещества от pH среды подтверждает естественную природу органического вещества в водах исследуемой акватории.

Ключевые слова: Каспийское море, продуктивность, органическое вещество, растворенное органическое вещество, взвешенное органическое вещество, аллохтонное органическое вещество, автохтонное органическое вещество

© Дегтярева Л. В., Бакун О. И., Очеретный М. А., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Дегтярева Л. В., Бакун О. И., Очеретный М. А. Органическое вещество в водах российского сектора Каспийского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 1. С. 112–123. EDN FNEADY.

Organic Matter in the Waters of the Russian Sector of the Caspian Sea

L. V. Degtyareva¹*, O. I. Bakun², M. A. Ocheretnyy¹

¹ FSBI Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, Russia

² LLC LUKOIL-Nizhnevolzhskneft, Astrakhan, Russia

*e-mail: kaspnmiz@mail.ru

Abstract

The paper aims to analyse the results of long-term studies of dissolved and suspended organic matter content in the waters of the Northern Caspian and Middle Caspian in the Russian sector of the Caspian Sea. The paper analyses the main sources of input of organic matter, its seasonal and inter-annual variability, features of its spatial distribution and causes (allochthonous organic matter flow, production and destruction, water temperature, sea level changes, etc.) determining the spatial and temporal dynamics of organic matter content. The paper is written on the results of production environmental monitoring conducted at the licensed areas of LLC LUKOIL-Nizhnevolzhskneft in 2017–2021. The organic matter amount was estimated by organic carbon. The dissolved organic carbon concentration was found to vary from 0.10 to 9.30 mg/dm³ in the surface water layer and from 0.10 to 9.60 mg/dm³ in the bottom layer. The maximum enrichment of waters with dissolved organic matter was noted in the northern part of the water area. The concentration of suspended organic carbon in the surface water layer varied within 0.10–23.40 mg/dm³, whereas in the bottom water layer it ranged within 0.05–19.40 mg/dm³. The spatial distribution of suspended organic matter was characterized by seasonal shifts of the area with maximum concentrations northwards. The main factors affecting the organic matter content in water were water temperature, suspended matter concentration in water and hydrogen ion concentration. The level of dissolved and suspended organic matter has not changed in the last 20 years of studies. The dependence of dissolved and suspended organic matter concentrations on environment pH indicates the natural origin of the organic matter in the waters of the monitored sea area.

Keywords: Caspian Sea, productivity, organic matter, dissolved organic matter, suspended organic matter, allochthonous organic matter, autochthonous organic matter

For citation: Degtyareva, L.V., Bakun, O.I. and Ocheretnyy, M.A., 2025. Organic Matter in the Waters of the Russian Sector of the Caspian Sea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 112–123.

Введение

Потенциальная биологическая продуктивность морской экосистемы оценивается по запасам органического вещества (ОВ) в водоеме. ОВ является продуктом жизнедеятельности растительных и животных организмов, определяет физико-химические свойства воды и донных отложений, служит источником питательных веществ¹⁾.

¹⁾ Майстренко Ю. Г. Органическое вещество воды и донных отложений рек и водоемов Украины (Бассейны Днепра и Дуная). Киев : Наукова думка, 1965. 239 с.

Репрезентативными показателями содержания растворенного органического вещества (РОВ) и взвешенного органического вещества (ВОВ) являются концентрации растворенного органического углерода (РОУ) и взвешенного органического углерода (ВОУ) соответственно [1].

В Каспийском море приходящая часть баланса ОВ формируется за счет аллохтонного и автохтонного органического материала, при этом ведущую роль играет автохтонное ОВ²⁾. Основным продуцентом автохтонного ОВ является фитопланктон^{2), 3), 4)}. Аллохтонное ОВ поступает главным образом со стоком рек [2, 3]. Основные статьи расходной части баланса: отложение ОВ в донные осадки и расход в процессе минерализации²⁾.

ОВ присутствует в каспийских водах в растворенной и взвешенной формах [4]. Основным биохимическим компонентом РОВ являются углеводы и липиды [5], а ВОВ – липиды и белки [3]. ОВ аллохтонного происхождения отличается высоким содержанием труднорастворимой фракции^{2), 3)}.

В российском секторе Каспийского моря, по литературным данным, максимальное содержание РОВ и ВОВ зарегистрировано в северо-западной части Северного Каспия, в устьевых областях рек Терек и Сулак, а также в зоне гидрфронта. Мористее концентрация ОВ снижается⁵⁾ [2, 5].

С глубиной в результате аэробного разрушения концентрация ОВ уменьшается [6], в придонном слое вследствие периодической взмучиваемости донных отложений интенсифицируются биохимические процессы⁶⁾. В мелководных районах благодаря интенсивному перемешиванию ОВ распределяется равномерно по всей водной толще⁵⁾.

Для ОВ характерны сезонные изменения: весной, во время цветения фитопланктона, содержание ОВ в фотическом слое воды повышается, а осенью вследствие развития деструкционных процессов и в результате седиментации – снижается [7, 8]. Взвешенное вещество (ВВ) является почти единственной формой, в которой ОВ переходит из воды в донные отложения⁷⁾.

Скорость деструкции органических соединений зависит от температуры воды, рН среды и условий аэрации³⁾. Повышение температуры воды увеличивает интенсивность минерализации органических соединений [9]. Повышение рН среды свидетельствует о более активном образовании ОВ в условиях интенсификации продукционных процессов, вызывающих уменьшение парциального давления углекислого газа в воде, а деструкция ОВ, сопровождающаяся повышением парциального давления углекислого газа, приводит к понижению рН.

²⁾ Дацко В. Г. Содержание органического вещества в водах Каспийского моря и его ориентировочный баланс // Гидрохимические материалы. 1957. Т. XXVII. С. 10–20.

³⁾ Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. Москва : Наука, 1977. 256 с.

⁴⁾ Химия океана. Том 1. Химия вод океана / Под ред. О. К. Бордовского, В. Н. Иваненкова. Москва : Наука, 1979. 521 с.

⁵⁾ Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. Ленинград : Гидрометеоздат, 1966. 342 с.

⁶⁾ Федосов М. В. Химическая основа кормности южных морей и их водный режим // Информационный сборник ВНИРО. 1957. № 1. С. 14–19.

⁷⁾ Биогеохимия растворенного и взвешенного органического вещества в океане / Е. А. Романкевич [и др.] // Органическая геохимия вод и поисковая геохимия. Москва : Наука, 1982. С. 7–17.

Кислород, как главный окислитель в придонном слое воды, расходуется на минерализацию органических соединений. Снижение концентрации кислорода в воде зависит от количества окисленного ОВ⁴⁾.

Важная роль в минерализации ОВ принадлежит бактериям, которые способны разлагать мертвое ОВ (в том числе нефтепродукты) и превращать продукты его деструкции в пригодные для усвоения водной растительностью формы⁸⁾ [10].

В водоемах, подверженных органическому загрязнению, изучение особенностей содержания и распределения ОВ особенно актуально.

В российском секторе Каспийского моря в современный период наблюдается ухудшение качества морской среды, которое вызвано прежде всего поступлением со стоком рек Волги, Терека, Сулака загрязняющих веществ, в том числе и органических соединений (нефтяных углеводородов, фенолов, хлорорганических пестицидов, синтетических поверхностно-активных веществ)⁹⁾ [11–15]. Кроме того, в Северном и Среднем Каспии интенсивно протекает эвтрофирование, приводящее к возрастанию количества РОВ и ВОВ [4, 16].

Колебания уровня моря приводят к количественным изменениям ОВ. Последние исследования распределения ОВ в водах Каспийского моря, проведенные в 2010–2015 гг., показали, что за данный период снижения уровня моря концентрация РОУ почти не изменилась [10]. Однако с 2016 г. уровень Каспийского моря снизился более чем на 70 см, и прогнозируется дальнейшее его падение [17].

В данных условиях (продолжающегося загрязнения, эвтрофирования, снижения уровня моря) требуется оценка содержания ОВ в водах Каспийского моря в современный период.

Цель работы заключается в определении основных источников органического вещества на акватории российского сектора Каспийского моря и факторов, определяющих пространственную и временную динамику содержания органического вещества, его взвешенной и растворенной форм.

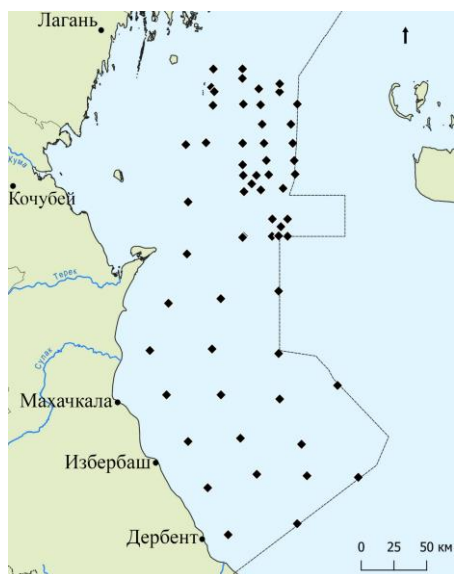
Материалы и методы

Работа написана по результатам производственного экологического мониторинга, проведенного на лицензионных участках ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в 2017–2021 гг. Мониторинг проводился два раза в год (весенне-летний и осенний периоды). Пробы отбирали последовательно на 58 станциях (рис. 1) в поверхностном и придонном слоях.

Анализы первого дня (температура воды, рН) проводили стандартными методами. Пробы воды (347 образцов) были обработаны в лабораториях, внесенных в реестр аккредитованных лабораторий. При проведении химических анализов были использованы признанные на национальном уровне методы испытаний, аттестованные методики измерений, калиброванные и поверенные средства измерений. Количество органического вещества оценивали

⁸⁾ Бордовский О. К. Накопление и преобразование органического вещества в морских осадках (исследование по проблеме происхождения нефти). Москва : Недра, 1964. 128 с.

⁹⁾ Гурбантур Ш. Б. Экологические проблемы Каспийского моря // Молодой ученый. 2010. № 5 (16). Т. I. С. 128–131.



Р и с . 1 . Схема отбора проб
 Fig. 1. Sampling scheme

(табл. 2). В среднем в течение всего исследуемого периода содержание РОУ у поверхности было выше, что обусловлено первичным продуцированием ОВ в фотическом слое и разложением ОВ в толще воды. Однако в силу мелководности исследуемой акватории вертикальные различия были минимальны. Между значениями концентрации РОУ в поверхностном и придонном слое выявлена корреляционная зависимость. В весенний период в условиях половодья и, соответственно, высокой гидродинамической активности коэффициент

по органическому углероду в соответствии с ГОСТ 31958-2012. Статистический анализ проведен согласно работе¹⁰.

Результаты и обсуждение

Гидролого-гидрохимический режим характеризовался повышением температуры воды от весны к лету с сохранением достаточно высоких значений температуры осенью (табл. 1). Сезонное возрастание значений водородного показателя свидетельствует об активизации продукционных процессов в летне-осенний период. Уменьшение количества взвеси летом и осенью обусловлено сезонным снижением объема твердого стока с волжскими водами.

Концентрация РОУ изменялась от 0.10 до 9.30 мг/дм³ в поверхностном слое и от 0.10 до 9.60 мг/дм³ в придонном

Т а б л и ц а 1 . Средние значения гидролого-гидрохимических показателей
 Table 1. Average values of hydrochemical indicators

Сезон / Season	Температура воды, °С / Water temperature, °С		рН воды / Water pH		Взвешенное вещество, мг/дм ³ / Suspended matter, mg/dm ³	
	Поверхность / Surface	Дно / Bottom	Поверхность / Surface	Дно / Bottom	Поверхность / Surface	Дно / Bottom
Весна / Spring	15.5	11.1	8.36	8.37	6.44	5.76
Лето / Summer	25.6	19.6	8.40	8.38	6.21	4.91
Осень / Autumn	19.5	17.0	8.46	8.43	2.88	2.51

¹⁰⁾ Смагунова А. Н., Карпукова О. М. Методы математической статистики в аналитической химии. Ростов н/Д : Феникс, 2012. 346 с.

Таблица 2. Концентрация органического углерода в воде Северного Каспия, мг/дм³Table 2. Concentration of organic carbon in the water of the Northern Caspian, mg/dm³

Сезон / Season	Слой / Layer	Растворенный органический углерод / Dissolved organic carbon		Взвешенный органический углерод / Suspended organic carbon	
		Диапазон / Range	Среднее / Average	Диапазон / Range	Среднее / Average
Весна / Spring	Поверхность / Surface	0.10–9.30	3.12	0.20–23.40	3.06
	Дно / Bottom	0.10–9.60	2.81	0.10–19.40	2.49
Лето / Summer	Поверхность / Surface	1.50–4.11	2.35	0.10–13.30	1.64
	Дно / Bottom	1.18–3.50	2.19	0.10–9.20	1.36
Осень / Autumn	Поверхность / Surface	0.75–6.00	2.43	0.10–6.86	1.17
	Дно / Bottom	0.45–5.00	2.21	0.05–4.80	0.96

корреляции (r) был ниже ($r = 0.48$; $n = 134$; $\alpha = 0.05$), чем летом ($r = 0.74$; $n = 72$; $\alpha = 0.05$) и осенью ($r = 0.79$; $n = 142$; $\alpha = 0.05$).

Несмотря на возрастание водородного показателя (рН), свидетельствующего об активизации первичного продуцирования ОВ (табл. 1), от весны к осени как в поверхностном, так и в придонном слое наблюдалось снижение содержания РОУ, что объясняется повышенной инсоляцией в летне-осенний период, ингибирующей фотосинтез¹¹⁾.

В течение исследуемого периода областью максимального обогащения РОУ была северная часть акватории (рис. 2).

Концентрация ВОУ в поверхностном слое воды изменялась в интервале 0.10–23.40 мг/дм³, в придонном – 0.05–19.40 мг/дм³ (табл. 2). Картина вертикального распределения и сезонной динамики ВОУ соответствовала изменениям концентрации ВВ (см. табл. 1). Максимальные значения ВОУ, зарегистрированные в весенний период, объясняются поступлением аллохтонного органического вещества со стоком р. Волги в период половодья. Однако от весны к осени теснота корреляционной зависимости между содержанием ВОУ в поверхностном и придонном слоях воды ослабевала. Так, весной коэффициент корреляции составил 0.66 ($n = 134$; $\alpha = 0.05$); летом 0.61 ($n = 72$; $\alpha = 0.05$); в осенний период 0.48 ($n = 142$; $\alpha = 0.05$). Снижение тесноты связи между данными параметрами обусловлено тем, что весной ВОУ находился в составе аллохтонного (трудноминерализуемого) ОВ, поступившего с волжскими водами во время половодья, и почти не разлагался в толще воды, а осенью он входил в состав автохтонного (легкоокисляемого) ОВ, минерализация которого происходила во всей толще воды.

¹¹⁾ Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград: Наука, 1983. 150 с.

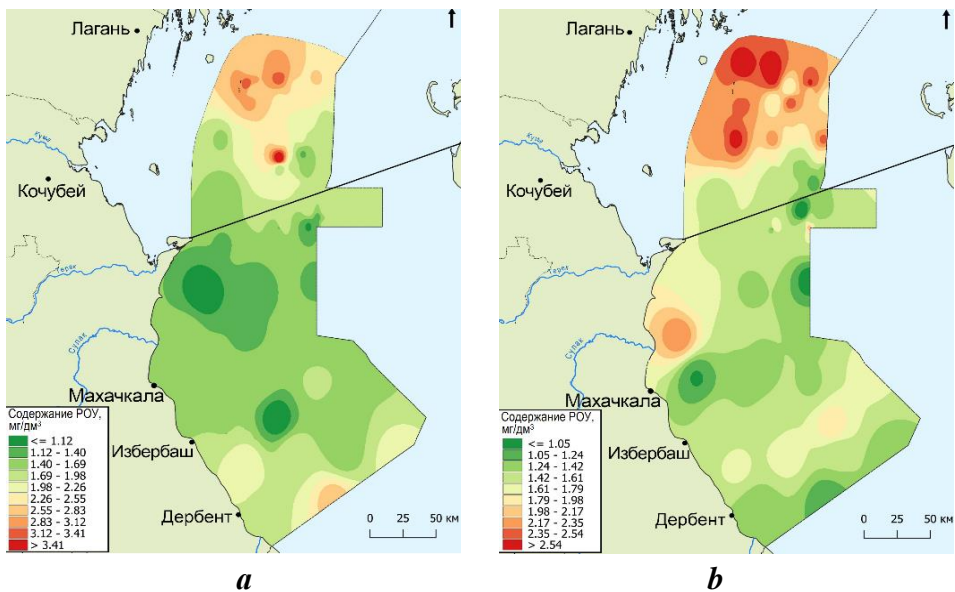


Рис. 2. Пространственное распределение растворенного органического углерода (мг/дм^3) в поверхностном слое воды весной 2020 г. (а) и осенью 2021 г. (б). Линией обозначена граница между Северным и Средним Каспием

Fig. 2. Spatial distribution of dissolved organic carbon (mg/dm^3) in the surface water layer in spring 2020 (a) and autumn 2021 (b). The line denotes the border between the Northern and Middle Caspian

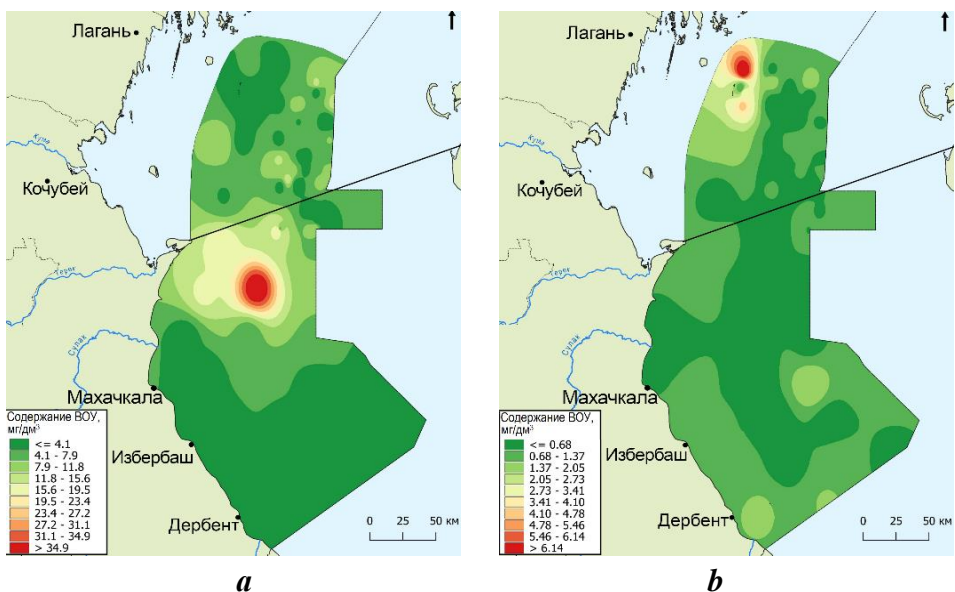


Рис. 3. Пространственное распределение взвешенного органического углерода (мг/дм^3) в поверхностном слое воды весной 2020 г. (а) и осенью 2021 г. (б). Обозначение линии см. рис. 2

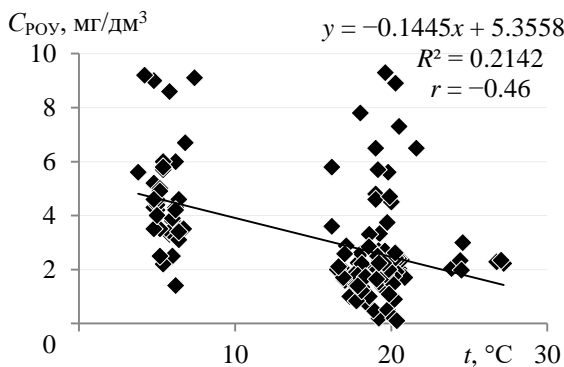
Fig. 3. Spatial distribution of suspended organic carbon (mg/dm^3) in the surface water layer in spring 2020 (a) and autumn 2021 (b). For the line notation see Fig. 2

Пространственное распределение ВОУ соответствовало распределению РОУ осенью (рис. 3). В весенний период область наибольших значений располагалась на трассе Аграханского п-ова, что может быть обусловлено выносом в этот район волжских вод на фоне повышенного водного стока.

Статистически значимой корреляционной зависимости между содержанием РОУ и ВОУ в течение всего исследуемого периода не выявлено. Уровень содержания, а также характерные черты пространственного распределения РОУ и ВОУ за последние 20 лет исследований не изменились [18].

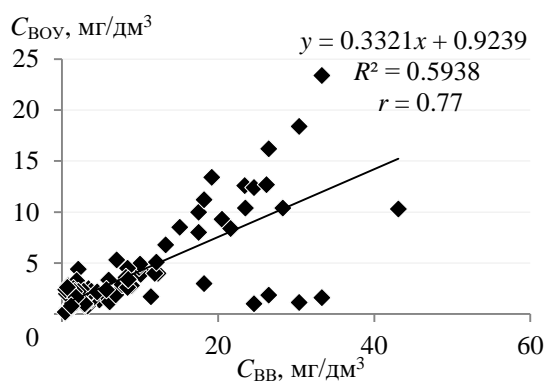
В весенний период концентрация РОУ находилась в обратной зависимости от температуры воды. Коэффициент корреляции составил -0.46 (рис. 4) для поверхностного слоя и -0.35 для придонного ($n = 137$; $\alpha = 0.05$). Содержание ВОУ находилось в прямой зависимости от количества ВВ: $r = 0.77$ (поверхность) (рис. 5) и $r = 0.71$ (дно) при $n = 137$; $\alpha = 0.05$. Это указывает на то, что в весенний период ВОУ находится в составе аллохтонного, трудноминерализуемого ОВ.

Летом выявлена корреляционная зависимость концентрации РОУ и ВОУ от рН воды. Зависимость ВОУ от рН ($r = 0.67$ и 0.62 соответственно для поверхностного (рис. 6) и придонного слоя), была сильнее, чем зависимость РОУ от рН ($r = 0.48$ и 0.57 соответственно для поверхностного и придонного слоя). Для всех вышеперечисленных зависимостей $n = 74$; $\alpha = 0.05$.



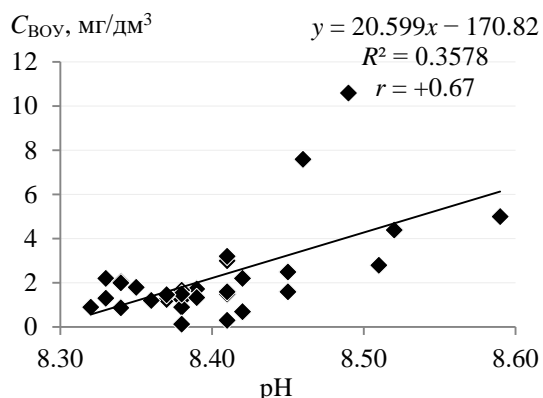
Р и с . 4 . Зависимость концентрации растворенного органического углерода C_{POY} (mg/dm^3) от температуры воды ($^{\circ}C$) в поверхностном слое в весенний период

F i g . 4 . Dependence of dissolved organic carbon C_{POY} (mg/dm^3) on water temperature ($^{\circ}C$) in the surface water layer during spring



Р и с . 5 . Зависимость концентрации взвешенного органического углерода C_{BOY} (mg/dm^3) от концентрации взвешенного вещества C_{BB} (mg/dm^3) в поверхностном слое в весенний период

F i g . 5 . Dependence of suspended organic carbon concentration C_{BOY} (mg/dm^3) on suspended matter concentration C_{BB} (mg/dm^3) in the surface water layer during spring



Р и с . 6 . Зависимость концентрации взвешенного органического углерода C_{BOY} (мг/дм³) от рН в поверхностном слое в летний период

F i g . 6 . Dependence of suspended organic carbon concentration C_{BOY} (mg/dm³) on pH in the surface water layer during summer

Статистически значимых корреляционных зависимостей в массиве данных за осенний период не обнаружено.

Сезонная динамика ВВ, РОУ и ВОУ на различных ступенях маргинального фильтра различалась. В «иловой пробке» (области, занятой водами с соленостью не более 4 ‰), по литературным данным, регистрируется максимальное количество ВВ [19]. Однако результаты наших исследований показали, что такая закономерность наблюдается только летом и осенью только в поверхностном слое (табл. 3). Весной во время половодья основная часть ВВ выносится мористее. Возрастание содержания ВВ и ВОУ отмечено в летний период, РОУ – в весенний.

В «элементоорганической пробке» (акватория с соленостью 4–7 ‰) в результате активизации флокуляции и сорбции происходит переход органических веществ в донные отложения [19]. Снижение концентрации РОУ в воде в «элементоорганической пробке» по сравнению с «иловой» наблюдается только весной. Летом и осенью в «элементоорганической пробке» происходит уменьшение ВОУ (в осенний период – только в поверхностном слое).

В «биологической части» маргинального фильтра (с соленостью свыше 7 ‰) вследствие активизации деятельности живых организмов происходит биоассимиляция ОВ. Концентрация РОУ и ВОУ снижается по сравнению с содержанием ОВ в «элементоорганической пробке». Концентрация РОУ снизилась незначительно, концентрация ВОУ в летний период снизилась в 3.3 раза в поверхностном слое воды и в 4 раза в придонном. Резкое снижение ВОУ у поверхности является следствием деструкционных процессов, которые в поверхностном слое воды в условиях высокого насыщения вод кислородом протекают интенсивнее. Резкое уменьшение количества ВОУ в придонном горизонте, вероятно, обусловлено развитием в биологической части маргинального фильтра моллюсков-фильтраторов: *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789), обитающей при солености не ниже 5 ‰; *Monodacna colorata* (Eichwald, 1829), оптимальная соленость для которой 6–10 ‰; *Didacna protracta* (Eichwald, 1829), предпочитающей соленость свыше 8 ‰ и проч. [20, 21].

Т а б л и ц а 3. Средняя концентрация взвешенного и органического вещества в воде Северного Каспия, мг/дм³

Table 3. Average concentration of suspended and organic substances in the water of the Northern Caspian, mg/dm³

Сезон / Season	Взвешенное вещество / Suspended matter		Растворенный органический углерод / Dissolved organic carbon		Взвешенный органический углерод / Suspended organic carbon	
	Поверхность / Surface	Дно / Bottom	Поверхность / Surface	Дно / Bottom	Поверхность / Surface	Дно / Bottom
<i>Соленость < 4 ‰ / Salinity < 4 ‰</i>						
Весна / Spring	1.55	1.60	7.75	5.75	1.25	1.05
Лето / Summer	11.15	3.55	2.38	2.32	7.80	6.68
Осень / Autumn	7.33	1.42	2.11	2.00	2.42	0.1
<i>Соленость 4–7 ‰ / Salinity 4–7 ‰</i>						
Весна / Spring	6.40	5.52	3.53	2.93	3.36	2.51
Лето / Summer	9.22	9.12	2.82	2.56	4.12	4.07
Осень / Autumn	3.83	4.06	3.08	2.54	1.59	1.23
<i>Соленость > 7 ‰ / Salinity > 7 ‰</i>						
Весна / Spring	6.53	5.86	2.99	2.75	3.06	2.51
Лето / Summer	5.82	4.62	2.32	2.16	1.25	1.01
Осень / Autumn	2.71	2.36	2.37	2.17	1.10	0.94

З а к л ю ч е н и е

Концентрация РОУ и ВОУ в поверхностном слое воды российского сектора Каспийского моря выше, чем в придонном, что обусловлено первичным продуцированием ОБ в фотическом слое и разложением ОБ в толще воды. Сезонная динамика характеризуется снижением РОУ и ВОУ от весны к осени, что объясняется естественными гидролого-гидрохимическими причинами (повышенной инсоляцией в летне-осенний период, ингибирующей процесс фотосинтеза, началом развития деструкционных процессов в осенний период, снижением поступления аллохтонного ОБ со стоком р. Волги).

Основными факторами, влияющими на содержание ОБ в воде, являются температура воды (отрицательный тренд), а также количество взвеси и рН воды (положительный тренд).

Уровень содержания растворенного и взвешенного органического вещества за последние 20 лет исследований не изменился. Зависимость концентрации растворенного и взвешенного органического вещества от pH среды подтверждает естественную природу органического вещества в водах исследуемой акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Органическое вещество и скорости его трансформации в различных экосистемах Баренцева моря / А. И. Агатова [и др.] // Система Баренцева моря / Под ред. А. П. Лисицына. Москва : Издательство ГЕОС, 2021. С. 212–235. EDN HLAAJF. <https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-0-8>
2. Взвешенное вещество, фитопланктон, хлорофилл в Каспийском море / Д. Е. Гершанович [и др.] // Каспийское море: Структура и динамика вод. Москва : Наука, 1990. С. 49–61.
3. *Хачатурова Т. А.* Взвешенные вещества Каспийского моря и их биохимический состав // Океанология. 1981. Т. 21, № 1. С. 70–76.
4. *Салманов М. А.* Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря. Баку : ПИЦ Исмаил, 1999. 398 с.
5. Органическое вещество Каспийского моря / А. И. Агатова [и др.] // Океанология. 2005. Т. 45, № 6. С. 841–850. EDN HSEURD.
6. *Ohle W.* Der Stoffhaushalt der Seen als Grundlage einer allgemeinen Stoffwechselformer dynamik der Gewässer // Kieler Meeresforschungen. 1962. Bd. 18, Ausg. 3. S. 107–120. URL: <https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/55674> (Zugriffsdatum: 22.01.2025).
7. *Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И.* Органическое вещество северной Атлантики // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. С. 200–214. EDN IJKJFD.
8. *Лисицын А. П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747. EDN YJGONJ.
9. Геоэкологический «портрет» экосистемы Каспийского моря / Л. И. Лобковский [и др.] // Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. Москва : Наука, 2005. С. 263–298. EDN QKFFJT.
10. Пространственно-временная изменчивость органического вещества в водах Каспийского моря / А. И. Агатова [и др.] // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 1. С. 70–81. EDN YZGLYD. <https://doi.org/10.31857/S0321-059646170-81>
11. Загрязнение мелководной прибрежной опресненной зоны и шельфа западной части Каспийского моря и его влияние на биоту и воспроизводство рыб / А. С. Абдусаматов [и др.] // Юг России: экология, развитие. 2011. № 2. С. 37–62. EDN JYGVHV.
12. *Карыгина Н. В.* О содержании, распределении и генезисе углеводов в водах Северного Каспия // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений: Материалы VII научно-практической конференции с международным участием. Астрахань, 18 октября 2019 года. Астрахань : «КаспНИРХ», 2019. С. 83–88. EDN DETAQA.
13. О нефтяном и пестицидном загрязнении низовьев Волги и северной части Каспийского моря / Н. В. Карыгина [и др.] // Экология и природопользование: Материалы Международной научно-практической конференции. Магас, 21–23 октября 2020 года. Назрань : ООО «КЕП», 2020. С. 250–257. EDN WJAPMO.
14. *Островская Е. В., Умриха А. В.* Нефтяное загрязнение северо-западной части Каспийского моря: современное состояние и основные источники // Труды ГОИИ. Москва, 2019. № 220. С. 209–220. EDN HOCKDV.

15. *Шипулин С. В.* Состояние запасов водных биоресурсов Волжско-Каспийского бассейна и меры по их сохранению в условиях развития нефтедобычи // Материалы VIII научно-практической конференции с международным участием «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений». Астрахань, 22 октября 2021 г. Астрахань : «КаспНИРХ», 2021. С. 306–309. EDN MKZCNX.
16. *Скопичев Б. А., Ларионов Ю. В.* Органическое вещество во взвесах некоторых озер разной степени трофии // Водные ресурсы. 1979. № 5. С. 159–170.
17. *Островская Е. В., Гаврилова Е. В., Варначкин С. А.* Изменения гидролого-гидрохимического режима Северного Каспия в условиях меняющегося климата // Материалы Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря» / Отв. редакторы Е. В. Островская, Л. В. Дегтярева. Астрахань : Издатель Сорокин Р. В., 2022. С. 75–77. EDN WBXDQG.
18. Биохимические исследования морских экосистем солоноватых вод / А. И. Агатова [и др.] // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 4. С. 470–479. EDN HMOLXT.
19. *Немировская И. А., Бреховских В. Ф.* Генезис углеводов во взвеси и в донных осадках северного шельфа Каспийского моря // Океанология. 2008. Т. 48, № 1. С. 48–58. EDN IBYVHN.
20. *Жирков И. А.* Жизнь на дне. Био-география и био-экология бентоса. Москва : Тов-во науч. изданий КМК, 2010. 453 с.
21. *Яблонская Е. А.* Многолетние изменения биомассы разных трофических групп бентоса Северного Каспия // Труды ВНИРО. 1975. Т. CVIII. С. 50–64.

Поступила 25.07.2024 г.; одобрена после рецензирования 13.09.2024 г.; принята к публикации 17.12.2024 г.; опубликована 31.03.2025 г.

Об авторах:

Дегтярева Лариса Вячеславна, ведущий научный сотрудник, Каспийский морской научно-исследовательский центр (414045, г. Астрахань, ул. Ширяева, д. 14), кандидат биологических наук, **SPIN-код: 5772-1402, ORCID ID: 0000-0003-1337-2797**, *kaspmniz@mail.ru*

Бакун Ольга Ивановна, ведущий инженер по охране окружающей среды ООО «ЛУ-КОЙЛ-Нижевожскнефть» (414000, г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, д. 1, корп. 2), кандидат биологических наук, **SPIN-код: 4783-4231, ORCID ID: 0000-0002-8149-9389**, *ozornikova@mail.ru*

Очеретный Максим Александрович, научный сотрудник, Каспийский морской научно-исследовательский центр (414045, г. Астрахань, ул. Ширяева, д. 14), **SPIN-код: 1998-8801, ORCID ID: 0009-0008-0667-9292**, *kaspmniz@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

Дегтярева Лариса Вячеславна – инициация исследования, постановка целей и задач исследования, проведение расчетов, анализ результатов расчетов, формулирование выводов

Бакун Ольга Ивановна – обзор литературы по проблеме исследования, редактирование рукописи

Очеретный Максим Александрович – построение карт и таблиц, написание аннотации

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.