Астраханский вестник экологического образования. 2025, №6 (90). С. 18-25
Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2025, №6 (90): 18-25
Науки о Земле
Научная статья
УДК 504.4.054
DOI 10.36698/2304-5957-2025-6-18-25

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА БПК$_5$ В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Попова Наталья Викторовна[1], Дегтярева Лариса Вячеславна[2], Курапов Алексей Александрович[3], Студников Семён Николаевич[3]
[1]ООО «Каспийская нефтяная компания»,
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
[3]Научно-исследовательский институт экологии южных морей
dlgru@mail.ru

Аннотация: Величины БПК$_5$ в мелководной зоне Северного Каспия изменялись от 0,35 до 6,35 мг/дм^3. В 2001-2017 гг. наблюдалось ежегодное превышение ПДК по БПК$_5$. В современный период преобладает тенденция к сезонному снижению БПК$_5$. Динамику БПК$_5$ определяют интенсивность фотосинтеза и активность микроорганизмов. Выявлены положительные корреляционные зависимости БПК$_5$ от биотического баланса и биомассы микроорганизмов. Класс качества вод мелководной зоны Северного Каспия изменялся от «чистые воды» до «грязные воды».
Ключевые слова: Северный Каспий, биохимическое потребление кислорода, оценка качества вод, сапробность
Для цитирования: Попова Н.В., Дегтярева Л.В., Курапов А.А., Студников С.Н. Многолетняя динамика БПК$_5$ в мелководной зоне Северного Каспия. // Астраханский вестник экологического образования. 2025, №6 (90). С.18-25 DOI 10.36698/2304-5957-2025-6-18-25

Earth Sciences
Original article

A LONG-TERM DYNAMIC OF BOD$_5$ IN THE SHALLOW ZONE OF THE NORTHERN CASPIAN

Popova N.V.[1], Degtyareva Larisa V.[2], Kurapov Alexey A.[3], Studnikov Semyon N.[3]
[1]Caspian Oil Company
[2]Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science
[3]Southern Ocean Ecology Research Institute

Abstract: The magnitude of BOD$_5$ in the Northern Caspian shallow area varied from 0.35 to 6.35 mg/dm^3. In 2001-2017 there was an annual exceedance of MPC on BOD$_5$. In the current period the trend towards a seasonal decrease of BOD$_5$ is dominated. The intensity of photosynthesis and activity of microorganisms determine dynamics of BOD$_5$. Positive correlations of BOD$_5$ from biotic balance and biomass of microorganisms were identified. The water quality class of the Northern Caspian shallow zone changed from «clear waters» to «dirty waters».
Key words: Northern Caspian, biochemical oxygen demand, assessment of water quality, saprobity
For citation: Popova N.V., Degtyareva L.V., Kurapov A.A., Studnikov S.N. A long-term dynamic of bod5 in the shallow zone of the Northern Caspian. // Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2025, №6 (90):18-25 DOI 10.36698/2304-5957-2025-6-18-25

Биохимическое окисление играет важную роль в круговороте органического вещества (ОВ) в природных водах. В процессе биохимического окисления ОВ происходит уменьшение концентрации растворенного в воде кислорода. Убыль кислорода косвенно является мерой содержания в воде ОВ [15]. Количество кислорода, который расходуется на окисление ОВ, учитывает величина биохимического потребления кислорода (БПК) [21].

БПК – это количество кислорода, требуемое для окисления органических веществ, находящихся в 1 л воды, в результате протекающих в воде биохимических процессов [15].

БПК используется для оценки содержания в воде растворенного ОВ природного и антропогенного происхождения [14], для характеристики окислительной трансформации

компонентов ОВ и развития продукционно-деструкционных процессов, а также при изучении проблем качества водных ресурсов [13]. Применение БПК используется и для морских вод [21].

Измерение БПК проводится в стандартных условиях (при температуре 20±1 °С, отсутствии доступа света и воздуха). Значение БПК находят как разность между содержанием кислорода в анализируемой пробе воды до и после инкубации [6].

Обычно БПК определяют за 5 суток инкубации ($БПК_5$). Этот период выбран по следующим причинам. Биохимическому окислению ОВ в воде сопутствует процесс нитрификации, который начинается приблизительно на седьмые сутки инкубации, и количество кислорода, пошедшее на нитрификацию, может в несколько раз превышать количество кислорода, требуемое для биохимического окисления органических углеродсодержащих соединений [15]. Кроме того, после 5 суток начинается утилизация кислорода автотрофными организмами, при которой окисляются сравнительно стойкие к биохимическому разложению вещества. Таким образом, в ходе анализа по определению $БПК_5$ окисляются нестойкие ОВ, а при полном – стойкие [14].

$БПК_5$ может составлять от 10 до 90 % БПК полного. Ориентировочно принимают, что $БПК_5$ составляет около 70 % БПК полного.

$БПК_5$ подвержено сезонным и суточным изменениям [14]. Сезонная динамика $БПК_5$ характеризуется снижением величин в осенний и зимний период; суточный ритм – снижением в темное время суток. Эти закономерности прослеживаются во всей толще воды [9]. Также изменения $БПК_5$ связаны с разнообразием форм нахождения разных фракций ОВ в природных водах и с антропогенным воздействием [13].

Значения $БПК_5$ находятся в прямой зависимости от продуцируемого в процессе фотосинтеза кислорода [9], увеличиваются с ростом температуры [14], определяются физиологической и биохимической активностью микроорганизмов [15].

Величины $БПК_5$ не рассматриваются как показатели, отражающие содержание растворенного органического вещества [9], и не используются в качестве единственного и надежного критерия динамики окислительных процессов [14]. Корректная оценка качества вод требует определения полного БПК и коэффициента скорости биохимического окисления [7]. Тем не менее $БПК_5$ используют для ориентировочной оценки качества воды [13]. Измерение $БПК_5$ широко используется при проведении научных исследований и в практике мониторинга водных объектов во всем мире; результаты измерений $БПК_5$ публикуются в национальных периодических изданиях (в РФ – в ежегодных изданиях Государственного водного кадастра) [6].

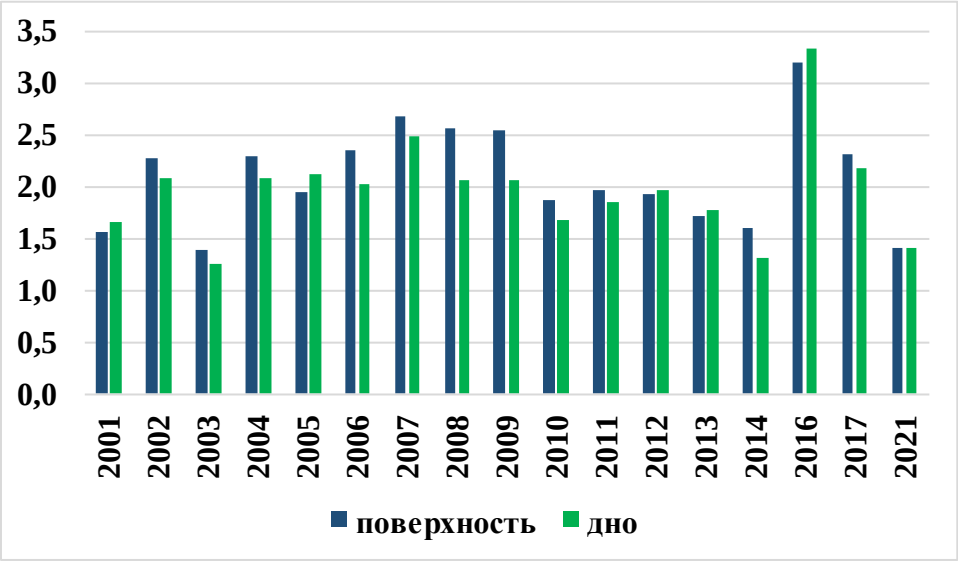
В поверхностных водах величина $БПК_5$ колеблется от 0,5 до 5,0 мг/л [15]. Величина $БПК_5$ для водных объектов рыбохозяйственного назначения нормируется. Предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет 2 мг/л [19].

Сведений о $БПК_5$ в Северном Каспии крайне мало [24, 25]. Известно, что в западной части мелководной зоны регистрируются относительно низкие значения $БПК_5$, а на остальной площади мелководья $БПК_5$ периодически превышает ПДК. В дельте р. Волги превышения ПДК по $БПК_5$ регистрируются регулярно [2, 3, 25].

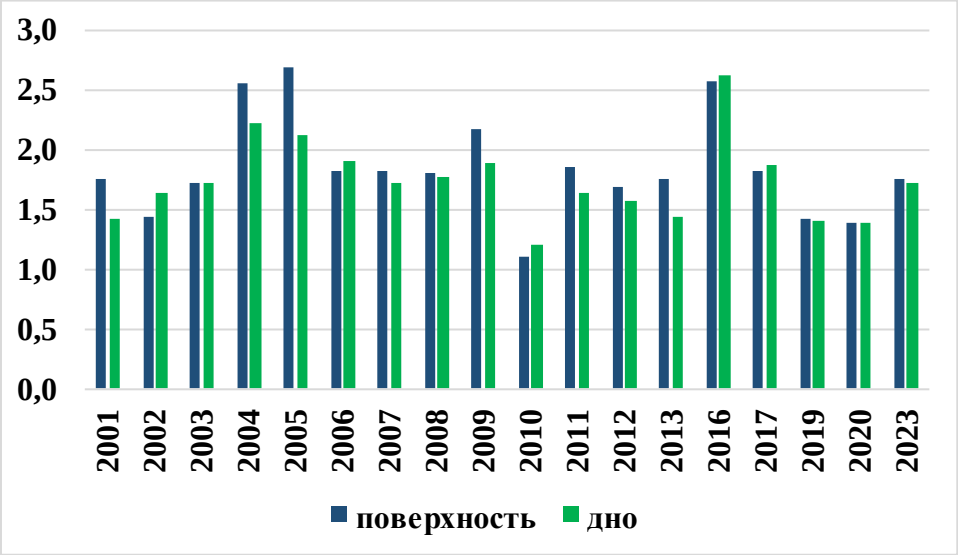
Цель работы состояла в анализе пространственно-временной динамики $БПК_5$ в мелководной зоне Северного Каспия в зависимости от факторов среды и оценке качества вод по $БПК_5$. Материалом для исследования послужили данные производственного экологического мониторинга ООО «Каспийская нефтяная компания». Отбор проб осуществлялся в 2001-2023 гг. в весенне-летний и осенний период на 23 станциях, расположенных в мелководной зоне Северного Каспия. Химический анализ был проведен в аккредитованной лаборатории. Математическая обработка данных выполнена согласно методам, применяемым для количественного химического анализа [22]. Картографический материал построен в ГИС MapInfo Pro, рекомендованной для экологического мониторинга [23]. Финансирование работ по анализу данных, выполненное Дегтяревой Л.В., получено в

рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН тема № FMWE-2024-0018.

В 2001-2023 гг. значения БПК$_5$ в весенне-летний период изменялись от 0,35 до 6,35 мг/дм^3 в поверхностном слое воды и до 6,59 мг/дм^3 в придонном, в осенний – от 0,38 до 4,87 мг/дм^3 и 4,97 мг/дм^3 соответственно. Наблюдались как восходящие, так и нисходящие тренды (рисунок 1). В последние годы наблюдается тенденция к сезонному снижению БПК$_5$.



а)



б)

Рис. 1. Многолетняя динамика средних значений БПК$_5$ в весенне-летний (а) и осенний период (б), мг/дм^3
Fig. 1. Long-term dynamics of the average values of BOD$_5$ in spring-summer (a) and autumn period (б), mg/dm^3

В 2001-2017 гг. величины БПК$_5$ ежегодно превышали ПДК. Максимальное превышение ПДК (в 3,3 раза) зарегистрировано весной 2002 г. Наибольшая повторяемость превышения ПДК по БПК$_5$ отмечена в 2016 г. (летом – 100 %, осенью – 72 %). В 2019-2021 гг. превышения ПДК не зафиксировано. В 2023 г. превышение ПДК (в 1,1 раза) зафиксировано в единичном случае.

Распределение БПК$_5$ по вертикали было достаточно однородным. В сезонном аспекте наблюдалось как снижение, так и возрастание БПК$_5$. Максимальное сезонное снижение наблюдалось в 2007 г. (рисунок 2). Весна 2007 г. характеризовалась максимальным за весь исследуемый период прогревом вод [11], что, вероятно, способствовало более быстрому разложению ОВ в течение весенне-летнего периода [20].

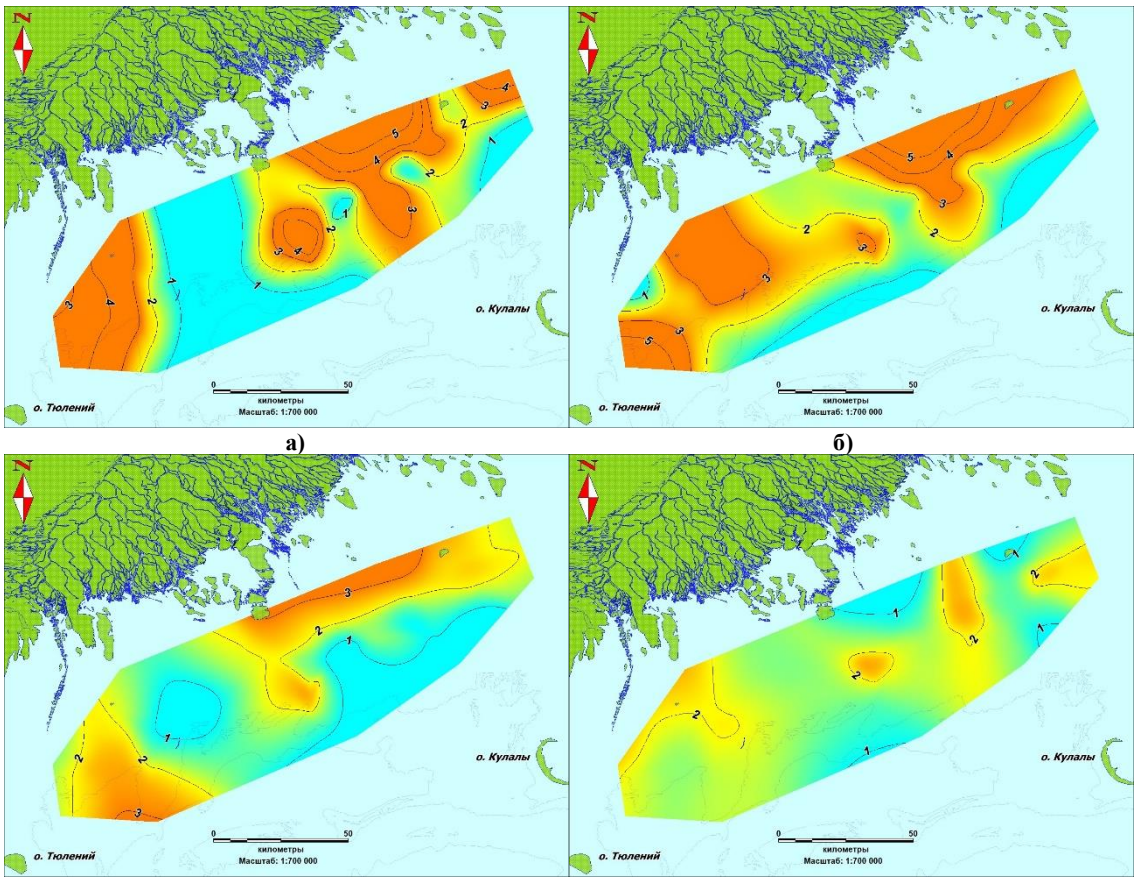


Рис. 2. Пространственное распределение БПК$_5$ весной (в поверхностном (а) и придонном (б) слое) и осенью (в поверхностном (г) и придонном (д) слое) 2007 г., мг/дм^3

Fig. 2. Spatial distribution of BOD$_5$ in spring (in the surface (a) and bottom (б) layer) and autumn (in the surface (г) and bottom (д) layer) in 2007, mg/dm^3

Максимальное возрастание БПК$_5$ от весны к осени в поверхностном слое наблюдалось в 2005 г., в придонном – в 2003 г. (рисунок 3). Весной 2003 г. отмечены самые низкие за период проведения работ температуры воды [11], что могло снизить скорость деструкционных процессов [20]. В 2005 г. отмечен максимальный водный сток р. Волги и сток взвешенного вещества за второй квартал [12], что свидетельствует о наибольшем поступлении аллохтонного ОВ, содержащего трудноминерализуемые компоненты [4]. Кроме того, в 2005 г. зафиксировано максимальное содержание в воде первого продукта разложения органического вещества – аммонийного азота [12].

В целом пространственное распределение БПК$_5$ характеризовалось формированием области повышенных значений в зоне влияния волжского стока.

Результаты анализа многолетних изменений БПК$_5$ согласуются с выводами, полученными при проведении исследований на других водных объектах [9, 14, 15]. БПК$_5$ определяют интенсивность фотосинтеза и активность микроорганизмов. На рисунке 4 представлены зависимости БПК$_5$ от биотического баланса (отношение продукции к деструкции) и от биомассы микроорганизмов.

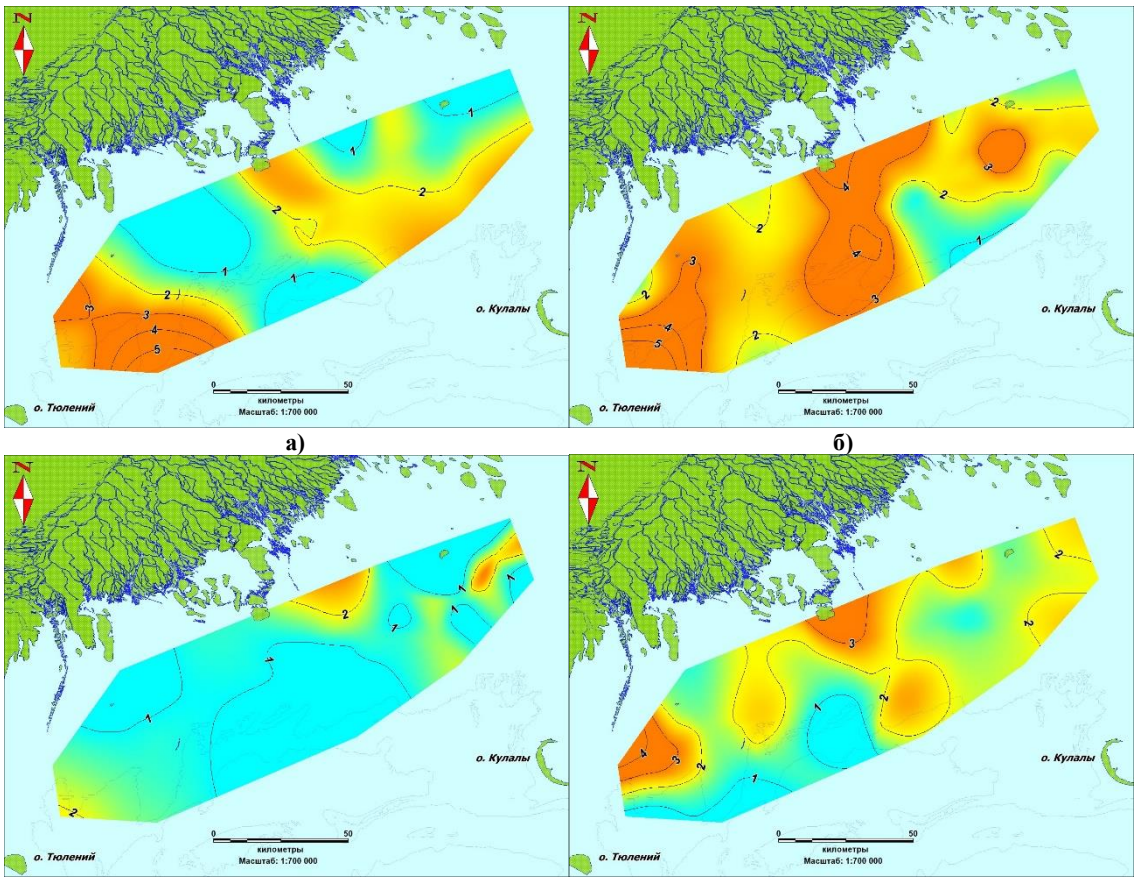


Рис. 3. Пространственное распределение БПК$_5$ в поверхностном слое (весной (а) и осенью (б) 2005 г.) и в придонном слое (весной (г) и осенью (д) 2003 г.), мг/дм^3

Fig. 3. Spatial distribution of BOD$_5$ in the surface layer (in spring (a) and autumn (б) in 2005) and in the bottom layer (in spring (г) and autumn (д) in 2003, mg/dm^3

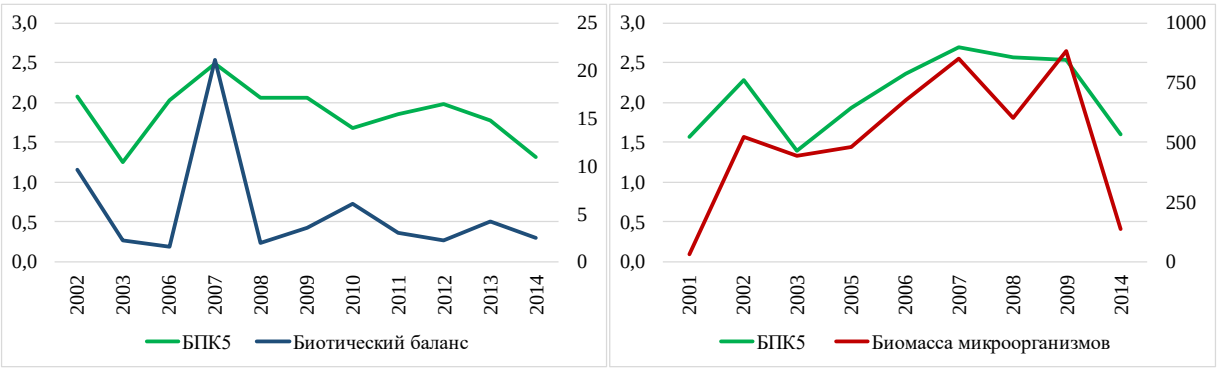


Рис. 4. Многолетняя динамика БПК$_5$ (мг/дм^3), биотического баланса (а) и биомассы микроорганизмов (мкг С/дм^3) (б)

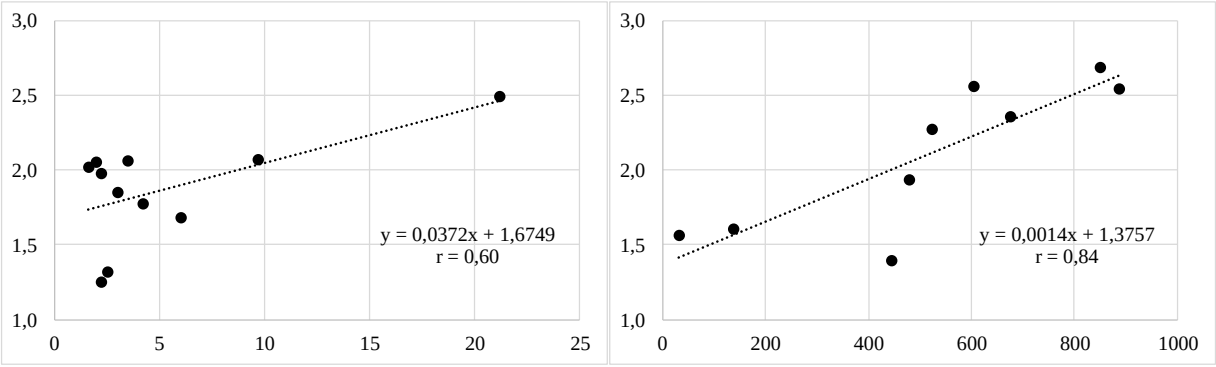
Fig. 4. Long-term dynamics of BOD$_5$ (mg/dm^3), biotic balance (a) and biomass of microorganisms (ug C/dm^3) (б)

Положительные значения биотического баланса свидетельствуют о преобладании продукционных процессов [1]. С увеличением биотического баланса возрастает доля автохтонного, легкоминерализуемого ОВ [1], которое и окисляется в ходе анализа по определению БПК$_5$ [14]. Коэффициент корреляции в зависимости «БПК$_5$ – биотический баланс» составляет 0,60. Описывающее зависимость уравнение имеет следующий вид:

БПК$_5$ = 0,0372*Биотический баланс + 1,6749.

Микроорганизмы являются основными трансформаторами как автохтонного, так и аллохтонного ОВ [26]. Зависимость БПК$_5$ от биомассы микроорганизмов при коэффициенте корреляции равном 0,84 выражается уравнением:

БПК$_5$ = 0,0014*Биомасса микроорганизмов + 1,3757.



а) б)

Рис. 5. Зависимость БПК$_5$ (мг/дм^3) от биотического баланса (а) и биомассы микроорганизмов (мкг С/дм^3) (б)
Fig. 5. Dependence of BOD$_5$ (mg/dm^3) on biotic balance (a) and biomass of microorganisms (ug C/dm^3) (б)

Согласно утвержденным стандартам качества воды [5] класс сапробности мелководной зоны Северного Каспия изменялся от ксеносапробного до полисапробного (от «чистые воды» до «грязные воды»). Однако в осенний период качество вод чаще всего улучшалось до α-мезосапробного («загрязненные воды»). Эти классы качества вод соответствуют трофическому статусу исследуемой акватории, который колеблется от «олиготрофного» до «гипертрофного» по многим гидрохимическим параметрам (насыщение вод кислородом, фосфор, азот [10], взвешенные вещества, pH [11], хлорофилл «а» [8]) и гидробиологическим показателям (биомасса фито-, зоопланктона и зообентоса [18]). Кроме того, такое качество вод не является свидетельством влияния антропогенных факторов [16, 17]. А сезонное снижение БПК$_5$ свидетельствует об устойчивости экосистемы Северного Каспия к аллохтонному и автохтонному поступлению органического вещества.

Таким образом, в 2001-2023 гг. в мелководной зоне Северного Каспия значения БПК$_5$ изменялись от 0,35 до 6,59 мг/дм^3. Величины БПК$_5$ практически ежегодно превышали ПДК. Вертикальное распределение было достаточно однородным. Сезонная динамика была обусловлена абиотическими факторами (температура воды, объем стока р. Волги и стока взвешенного вещества в его составе, содержание аммонийного азота). Многолетняя динамика определялась направлением продукционно-деструкционных процессов и развитием микроорганизмов. Оценка качества вод по БПК$_5$ изменялась от «чистые воды» до «грязные воды», что соответствует результатам, полученным по другим гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Улучшение качества вод в осенний период свидетельствует об устойчивости экосистемы к аллохтонному и автохтонному поступлению органического вещества.

Литература

1.Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

2.Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волга и морской среды российского сектора Каспийского моря за 2023 год. Астрахань, 2024. 85 с. http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2025/01/Бюллетень-о-состоянии-и-загрязнении-за-2023.pdf (дата обращения 29.10.2025).

3.Водный кадастр ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2016 год. М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. 164 с.

4.Гершанович Д.Е., Хачатурова Т.А. Взвешенные вещества Каспийского моря. Научный отчет по теме №1. М.: ВНИРО, 1974. 60 с.

5.ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. 62 с.

6.Готовцев А.В. Оценка влияния ксенобиотиков на скорость разложения органических загрязнений : [монография]. М.: Вода: химия и экология, 2018. 272 с.

7.Готовцев А.В., Данилов-Данильян В.И., Никаноров А.М. Перспективы измерения и применения БПК // Вода: химия и экология. 2012. № 5. С. 24-27.

8.Дегтярева Л.В., Кравченко Е.А. Влияние биогенных элементов на содержание хлорофилла «а» в Северном Каспии // Современные тенденции в образовании и науке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2013 г.: в 26 частях. Часть 19. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес- Наука- Общество», 2013. С. 33-35.

9.Добржанская М.А. Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$) по данным многолетних ежемесячных наблюдений на суточных станциях // Биология моря. 1962. Вып. 27. С. 132-138.

10.Кашин Д.В., Дегтярева Л.В. Оценка состояния вод Северного Каспия по биогидрохимическим показателям // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 5. С. 60-64.

11.Курапов А.А., Попова Н.В., Дегтярева Л.В., Умербаева Р.И., Студников С.Н. Загрязняющие вещества в мелководной зоне Северного Каспия. Том 1. Нефтяные углеводороды. Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2024. 130 с.

12.Курапов А.А., Попова Н.В., Дегтярева Л.В., Умербаева Р.И., Студников С.Н., Зубанов С.А. Загрязняющие вещества в мелководной зоне Северного Каспия. Том 3. СПАВ. Фенолы. Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2025. 68 с.

13.Леонов А.В., Зобкова М.В. Общая характеристика развития БПК в длительных экспериментах с водой из разнотипных водных объектов Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 61–79.

14.Леонов А.В., Пищальник В.М. Моделирование природных процессов в водной среде. Теоретические основы : учебное пособие. Южно-Сахалинск: изд-во СахГУ, 2012. 228 с.

15.Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд., доп. и перераб. СПб.: «Крисмас+», 2004. 248 с.

16.Мусатов А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. М.: Научный мир, 2001. 192 с.

17.Науменко М.А. Эвтрофирование озер и водохранилищ. СПб: Изд. РГГМУ, 2007. 100 с.

18.Островская Е.В., Дегтярева Л.В., Кашин Р.Д. Изменение трофности и продуктивности Северного Каспия под влиянием меняющегося климата // Материалы Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря». Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2022. С. 180-182.

19.Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 N 45203).

20.Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.

21.Скопинцев Б.А. Результаты применения некоторых методов определения органического вещества в морской воде // Труды ГОИН. 1948. Вып. 4(16). С. 3-22.

22.Смагунова А.Н., Карпукова О.М. Методы математической статистики в аналитической химии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2012. 346 с.

23.Студников С.Н. Методические аспекты использования гис-технологии в экологическом мониторинге // Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 5(77). С. 36-43.

24.Федосов М.В. Биохимическое потребление кислорода грунтами Северного Каспия и их относительная регенеративная способность // Труды ГОИН. 1948. Вып. 10(22). С. 136-146.

25.Чуйков Ю.С. Возвращаясь к проблемам Каспия (обзор). Часть 2 // Астраханский вестник экологического образования. 2015. № 4(34). С. 44-67.

26.Cho B.C., Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean’s euphotic zone // Marine Ecology Progress Series. 1990.V. 63(213). P. 253-259.

References

1.Bouillon V.V. Primary production of plankton of internal reservoirs. L: Science, 1983. 150 s. (in Russian)

2. Bulletin on the state and pollution of the estuary region of the Volga River and the marine environment of the Russian sector of the Caspian Sea for 2023. Astrakhan, 2024. 85 p. http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2025/01/Bulletin-o-state-and-pollution-for-2023.pdf (referral date 29.10.2025). (in Russian)

3. Water inventory of surface and groundwater resources, their use and quality. Annual edition. 2016. M.: LLC ROC Ofort, 2017. 164 p. (in Russian)

4.Gershanovich D.E., Khachaturova T.A. Suspended substances of the Caspian Sea. Scientific report on topic No. 1. M: VNIRO, 1974. 60s. (in Russian)

5.GOST 17.1.2.04-77. Conservation. The hydrosphere. Status indicators and taxation rules of fishery water bodies. 62 s. (in Russian)

6.Gotovtsev A.V. Evaluation of the influence of xenobiotics on the rate of decomposition of organic pollution: [monograph]. M.: Water: chemistry and ecology, 2018. 272 s. (in Russian)

7.Gotovtsev A.V., Danilov-Danilyan V.I., Nikanorov A.M. Prospects for measurement and application of BOD // Water: chemistry and ecology. 2012, No. 5. 24-27. (in Russian)

8.Degtyareva L.V., Kravchenko E.A. Influence of biogenic elements on the content of chlorophyll "a" in the Northern Caspian Sea // Modern trends in education and science: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference October 31, 2013: in 26 parts. Part 19. Tambov: Publishing house "Business-Science-Society", 2013. pp. 33-35. (in Russian)

9.Dobrzhanskaya M.A. Biochemical oxygen consumption (BOD5) according to long-term monthly observations at daily stations. 1962. Issue 27. P. 132-138. (in Russian)

10.Kashin D.V., Degtyareva L.V. Assessment of the state of the waters of the Northern Caspian by biohydrochemical indicators // Environmental protection in the oil and gas complex. 2013, No. 5. P. 60-64. (in Russian)

11.Kurapov A.A., Popova N.V., Degtyareva L.V., Umerbaeva R.I., Studnikov S.N. Pollutants in the shallow zone of the Northern Caspian. Tom 1. Petroleum hydrocarbons. Astrakhan: Individual entrepreneur Sorokin Roman Vasilyevich (Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich), 2024. 130 p. (in Russian)

12.Kurapov A.A., Popova N.V., Degtyareva L.V., Umerbaeva R.I., Studnikov S.N., Zubanov S.A. Pollutants in the shallow zone of the Northern Caspian Sea. Volume 3. Phenols. Astrakhan: Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich, 2025. 68c. (in Russian)

13.Leonov A.V., Zobkova M.V. General characteristics of the development of BOD in long-term experiments with water from diverse water bodies of Karelia // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019, No. 3. pp. 61-79. (in Russian)

14.Leonov A.V., Pishchalnik V.M. Modeling of natural processes in aquatic environment. Theoretical foundations: training manual. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhSU Publishing House, 2012. 228 s. (in Russian)

15.Muravyov A.G. Guide to determining water quality indicators by field methods. 3rd ed., Supplementary and foreman. SPb.: "Chrismas", 2004. 248 p. (in Russian)

16.Musatov A.P. Evaluation of parameters of ecosystems of inland water bodies. M.: The scientific world, 2001. 192 s. (in Russian)

17.Naumenko M.A. Eutrophy of lakes and reservoirs. SPB: Published by RSSMU, 2007. 100 p. (in Russian)

18.Ostrovskaya E.V., Degtyareva L.V., Kashin R.D. Changing trophicity and productivity of the Northern Caspian under the influence of changing climate // Proceedings of the International Scientific Conference “Climate Change in the Caspian Sea Region”. Astrakhan: Publisher Sorokin Roman Vasilyevich, 2022. P. 180-182. (in Russian)

19.Order of the Ministry of Agriculture of Russia of 13.12.2016 No. 552 “On approval of water quality standards of water objects of fisheries importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in water bodies of fisheries value” (Registered in the Ministry of Justice of Russia 13.01.2017 No. 45203). (in Russian)

20.Romankevich E.A. Geochemistry of organic matter in the ocean. Science, 1977. 256s. (in Russian)

21.Skopintsev B.A. Results of application of some methods of determination of organic matter in sea water // Proceedings of GOIN. 1948. Issue 4(16). 3-22. (in Russian)

22.Smagunova A.N., Karpukova O.M. Methods of mathematical statistics in analytical chemistry. Rostov-on-Don: Phoenix, 2012. 346 p. (in Russian)

23.Studnikov S.N. Methodological aspects of the use of gist technology in environmental monitoring // Astrakhan Bulletin of Environmental Education. No. 5(77) 2023. 36-43. (in Russian)

24.Fedosov M.V. Biochemical oxygen consumption by soils of the Northern Caspian Sea and their relative regenerative capacity. 1948. Issue 10(22). P. 136-146. (in Russian)

25.Chuikov Yu.S. Returning to the problems of the Caspian Sea (review). Part 2 // Astrakhan Bulletin of Environmental Education. No. 4(34), 2015. 44-67. (in Russian)

26.Cho B.C., Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean’s euphotic zone // Marine Ecology Progress Series. 1990.V. 63(213). P. 253-259.