

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 574.51+574.587

doi: 10.26907/2542-064X.2024.2.312-323

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ЭТАЛОНОВ ДЛЯ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Л.В. Дегтярева

Каспийский морской научно-исследовательский центр, г. Астрахань, 414045, Россия

Аннотация

Оценка качества морской среды западной части Северного Каспия методами биоиндикации не проводится, что обусловлено рядом методологических трудностей. В данной работе рассмотрена возможность применения метода эталонов для биоиндикации Северного Каспия при органическом загрязнении. На основе данных о диапазоне глубин в ареалах видов северо-каспийского зообентоса и экологической валентности видов к кислороду проведена дифференциация акватории Северного Каспия по изобатам и выделены диапазоны глубин с достаточным количеством оксифильных видов зообентоса (видов-биоиндикаторов), на которых возможно применение метода эталонов. Установлено, что для оценки качества морской среды Северного Каспия метод эталонов применим при выборе исследуемого и эталонного участков в диапазоне изобат 6–9 м и на глубинах 14–18 м. При этом донные отложения на участках должны быть представлены ракушей, песками и алевритами. На остальной части акватории оценка качества среды методом эталонов будет недостоверной.

Ключевые слова: Северный Каспий, зообентос, биоиндикация, метод эталонов.

Введение

В современный период в условиях активного антропогенного воздействия состояние экосистемы Северного Каспия ухудшается. В частности, наблюдается существенное возрастание и даже превышение предельно допустимых концентраций таких органических загрязняющих веществ, как нефтяные углеводороды, пестициды, фенолы [1–4].

Несмотря на многочисленные исследования органического загрязнения воды и донных отложений Северного Каспия, посвященные отклику биоты на ухудшение качества среды, число работ в этой области крайне мало. Оценка качества морской среды Северного Каспия методами биоиндикации не проводится. Однако под влиянием загрязнения происходит изменение структуры водных биоценозов [5], и биоиндикация позволяет получить полную информацию о последствиях изменения среды для биологических сообществ [6], а также дать комплексную оценку состояния экосистемы [7].

Отсутствие биоиндикационных исследований в Северном Каспии обусловлено рядом методологических трудностей: не составлены классификация северокаспийских видов по экологическим группам и список индикаторных

видов; не определена резистентность многих видов к изменению абиотических факторов среды, не выделены контрольные (эталонные) участки на акватории. Решению последней из вышеперечисленных проблем (выделению эталонных участков) посвящена данная работа. Применение метода эталонов рассмотрено для зообентоса.

Метод эталонов основывается на сравнении видового состава сообщества на исследуемом (загрязненном) и эталонном (чистом) участках [8–9]. Данный метод эффективен при индикации загрязнений [8]. Однако используется он достаточно редко, поскольку требует наличия зон, не затронутых антропогенным воздействием [8, 10, 11]. Сложность в применении метода эталонов для оценки состояния Северного Каспия состоит в том, что распределение северокаспийских бентобионтов и их видовой состав зависят прежде всего от солености [12], которая увеличивается с глубиной водоема [13], а значит, сравниваемые участки (исследуемый и эталонный) должны находиться в одном диапазоне глубин. Цель работы состояла в дифференциации акватории Северного Каспия по глубинам и в оценке возможности применения метода эталонов для биоиндикации.

1. Материалы и методы исследований

Работа выполнена на основе опубликованных данных, в том числе более ранних исследований, выполненных с участием автора [14–20]. Сбор данных охватывал период 2013–2017 гг. Площадь исследуемой акватории лежала в диапазоне глубин 1–29 м.

В расчетах использовали диапазон глубин в ареалах видов и экологическую валентность видов к кислороду. Поскольку низкое содержание органических веществ (включая органические загрязнители) обуславливает высокое содержание кислорода в придонном слое воды [21], то эталонным участком следует считать воды с насыщением кислородом не менее 50%, принятым за «нормальное». [22]. Поэтому в расчеты вошли сведения только об оксифильных видах северокаспийского бентоса, т. е. о видах, которые обитают при насыщении вод кислородом не менее 50%.

Дифференциация исследуемого района по глубинам была проведена по ранее предложенным, в том числе по Каспию, районированиям [23, 24]. Вид-биоиндикатор (в данном случае оксифильный) считался сопряженным, если он присутствовал на каждой глубине с шагом 1 м внутри выбранного диапазона глубин. Степень сопряженности индикатора с объектом индикации считалась достоверной, если доля сопряженных биоиндикаторов превышала 75% от бентобионтов, присутствующих во всем диапазоне глубин [25].

В работе проанализированы все оксифильные бентобионты Северного Каспия, кроме двух представителей семейства Gammaridae (*Gammarus behningi* (Mart.) и *Pontogammarus abbreviates* (Sars G.O., 1894)), экстремальные глубины в ареале которых неизвестны.

2. Результаты и их обсуждение

Акватория Северного Каспия до 3-метровой изобаты является областью влияния стока р. Волга, трансформации речных вод (с соленостью < 2‰), высокого содержания взвешенных веществ при максимальной скорости их осажде-

ния [13]. Донные отложения представлены алевритами, песчаными алевритами, алевропелитами, алевритовыми песками с небольшим содержанием ракуши и ракушечного детрита. После падения уровня моря в этой области наблюдается усиление зарастания макрофитами [26].

До 3-метровой изобаты в диапазоне относительного содержания кислорода более 50%, принятом за эталонный, зообентос представлен 15 таксонами. Из них ареалы 11 таксонов (*Oligochaeta*; *Nematodes*; *Archaeobdella esmonti* (Grimm, 1876); *Paramysis intermedia* (Czerniavsky, 1882); *Paramysis lacustris* (Czerniavsky, 1882); *Paramysis ullskyi* (Czerniavsky, 1882); *Limnomysis benedeni* (Czerniavsky, 1882); *Pterocuma pectinatum* (Sowinsky, 1893); *Stenocuma tenuicauda*; *Adacna vitrea* (Eichwald, 1829) и *Didacna protracta* (Eichwald, 1829)) не покрывают весь выделенный диапазон глубин. И только 4 вида (*Echinogammarus warpachowskyi* (G.O. Sars, 1894); *Stenogammarus compressus* (G.O. Sars, 1894); *Nipharqoides deminutus* (Stebbing, 1906) и *Nipharqoides corpulentus* (Sars, 1895)) встречаются в каждом интервале глубин с шагом 1 м. Таким образом, процент общих для всего диапазона (сопряженных) таксонов составил 27 (табл. 1), что делает невозможным применение метода эталонов для исследований в этой части моря.

Табл. 1

Количество таксонов северокаспийского зообентоса по глубинам

Диапазон глубин, м	Количество таксонов	Количество сопряженных таксонов	Доля сопряженных таксонов, %
0–3 м	15	4	27
3–6 м	28	12	43
6–9 м	22	19	86
9–14 м	27	16	59
14–18 м	23	20	87
18–28 м	21	15	71

Свал глубин (3–6 м) – зона смешения соленых и пресных вод. В этой области расположена «иловая пробка» – область максимального содержания взвеси. Под воздействием электролитов соленых вод на свале глубин происходит активная коагуляция взвешенных веществ. Грунты здесь представлены преимущественно илами с высоким уровнем накопления органического вещества [27, 28].

В эталонном интервале относительного содержания кислорода между изобатами 3 и 6 м общее число оксифильных таксонов увеличилось до 28. В сообществе бентобионтов присутствуют все упомянутые 15 таксонов участка, расположенного до 3-метровой изобаты. Кроме того, сообщество пополняется 13 видами: *Manayunkia caspica* (Annenkova, 1929); *Gmelinopsis tuberculata* (G.O. Sars, 1896); *Paramysis (Metamysis) loxolepsis* (G.O. Sars); *Pseudocuma (Stenocuma) gracilis* (Sars, 1893); *Caspiocuma campylaspoides* (Sars, 1897); *Chelicorophium chelicorne* (G.O. Sars, 1895); *Chelicorophium mucronatum* (G.O. Sars, 1895); *Pseudocuma laevis* (Sars, 1894); *Chelicorophium curvispinum* (G.O. Sars, 1895); *Chelicorophium nobile* (G.O. Sars, 1895); *Nipharogammarus quadrimanus* (G.O. Sars, 1895); *Nipharogammarus aequimanus* (G.O. Sars, 1895)

и *Didacna trigonoides* (Pallas, 1771). В этой области 12 сопряженных таксонов: 4 сопряженных вида для диапазона глубин 0–3 м, а также *Oligochaeta*; *Nematodes*; *P. lacustris*; *P. pectinatum*; *S. tenuicauda*; *A. vitrea*; *D. protracta* и *A. esmonti*. Низкий процент сопряженных видов (табл. 1) указывает на невозможность использования метода эталонов для оценки качества морской среды в этой области.

За линией свала глубин, между изобатами 6 и 9 м, наблюдается активизация процессов флокуляции и сорбции [23]. Донные отложения преимущественно представлены ракушей [29].

На участке с относительным содержанием кислорода более 50% выявлено 22 оксифильных таксона. Из пула бентобионтов, обживающих глубины 3–6 м, исчезают 6 видов: *P. intermedia*; *L. benedeni*; *P. ullskyi*; *P. loxolepsis*; *C. campylaspoides*; *P. laevis*. Кроме *P. lacustris*; *A. esmonti* и *G. tuberculata*, остальные 19 являются сопряженными. Высокий процент сопряженных видов (табл. 1) обеспечивает надежность применения метода эталонов. Однако следует иметь в виду, что не все из сопряженных видов эвритопны. Олигохеты предпочитают песчаный грунт, тогда как *E. warpachowskyi*, *S. compressus*, *N. corpulentus*, *N. quadrimanus*, *C. curvispinum*, *C. chelicorne*, *C. mucronatum* и *D. protracta* – заиленный грунт [30–32]. Поэтому на участках развития илистых донных отложений доля сопряженных видов, из числа которых исключается 1 таксон, снижается с 86 до 82%. Таким образом, результат оценки является удовлетворительным. А на участках, где донные отложения представлены песками, из числа сопряженных бентобионтов исключаются 8 видов. Доля сопряженных таксонов снижается до 59%, что делает результаты оценки качества морской среды методом эталонов сомнительными.

Акватория в диапазоне глубин 9–14 м – биологическая часть маргинального фильтра. Здесь наблюдается высокая вариабельность показателей солености, интенсивное накопление органического вещества и карбонатов в донных отложениях [23, 33]. Гранулометрический состав грунтов, подстилающих эту область, разнообразен [34].

Число оксифильных таксонов, обитающих на этих глубинах, составляет 27. В этом диапазоне глубин не встречены *P. lacustris*, *A. esmonti* и *G. tuberculata*. Однако сообщество бентобионтов пополняется новыми видами: *Fabricia sabella* ssp. *caspiica*; *Chelicorophium robustum* (G.O. Sars, 1895); *Niphargoides derzhavini* (Pjatakova, 1962); *Monodacna semipellucida* (Logvinenko & Starobogatov, 1967); *Theodoxus pallasi* Lindholm, 1924; *Didacna pyramidata* (Grimm); *Pseudocuma cercarioides* (Sars, 1894) и *Corophium spinolosum* (G.O. Sars). В этом диапазоне глубин только 16 видов являются сопряженными: *Oligochaeta*; *Nematodes*; *P. pectinatum*; *S. tenuicauda*; *S. compressus*; *N. deminutus*; *N. corpulentus*; *A. vitrea*; *D. protracta*; *P. gracilis*; *C. chelicorne*; *C. mucronatum*; *C. curvispinum*; *C. nobile*; *N. quadrimanus*; *N. aequimanus*. Доля сопряженных видов составляет 59%, что исключает надежность применения метода эталонов для исследований на этом участке моря.

Акватория Северного Каспия, расположенная на глубинах 14–18 м, характеризуется высокой интенсивностью продукционных процессов при слабом развитии деструкции [35]. В этой части акватории наиболее устойчивый солевой режим и происходит снижение содержания органического вещества в донных отложениях за счет разбавляющего влияния минерального материала [36].

Число оксифильных таксонов в этой части моря – 23. Видовой состав тот же, что и в диапазоне глубин 9–14 м, за исключением *E. warpachowskyi*; *M. caspica*; *D. trigonoides*; *F. sabella*. Кроме трех видов (*S. tenuicauda*; *A. vitrea*; *P. gracilis*), остальные 21 – сопряженные. Доля сопряженных видов составила 83%, что указывает на возможную применимость метода эталонов в исследованиях в этом районе. Вместе с тем следует учесть, что не все из сопряженных видов эври-топны. Олигохеты предпочитают песчаный грунт, *S. compressus*, *N. corpulentus*, *N. quadrimanus*, *C. curvispinum*, *C. chelicorne*, *C. mucronatum*, *D. protracta*, *C. robustum* и *N. derzhavini* – заиленный грунт, а *P. cercarioides* – ил [30–32]. Соответственно, на участках развития илистых донных отложений доля сопряженных видов, из числа которых исключается 1 таксон, снижается с 87 до 83%, что считается удовлетворительным. А на участках, где донные отложения представлены песками, из числа сопряженных гидробионтов исключаются 10 видов. Доля сопряженных таксонов снижается до 43%, что делает результаты оценки качества морской среды методом эталонов сомнительными.

Область за изобатой 18 м является зоной водообмена между северной и средней частью моря со сложным режимом течений. На западе преобладает перенос вод из Северного Каспия в Средний Каспий и подток морских вод на север в придонном слое, на востоке – поступление среднекаспийских вод в северную часть моря. Акватория характеризуется пониженным содержанием взвешенных и минеральных биогенных веществ. Наиболее распространенными типами донных отложений в этом районе являются разнoзернистый песок и ракуша. На отдельных участках встречаются оолиты [13, 37].

На участках с эталонным содержанием кислорода число таксонов составляет 21. Видовой состав тот же, что и на глубинах 14–18 м, за исключением *S. tenuicauda*; *A. vitrea*; *P. gracilis*. Также появляется новый вид *Pterocuma rostratum* (Sars, 1894). Кроме 6 видов (*D. Protracta*; *C. Curvispinum*; *M. semipellucida*; *T. Pallasii*; *D. pyramidata* и *P. rostratum*), остальные 15 являются сопряженными. Низкий процент сопряженных видов (табл. 1) свидетельствует о сомнительности применения метода эталонов для исследований в данном интервале глубин.

Таким образом, для оценки качества морской среды Северного Каспия метод эталонов по отношению к зообентосу применим при выборе исследуемого и эталонного участков в диапазоне изобат 6–9 м и на глубинах 14–18 м. Донные отложения на обоих участках должны быть представлены ракушей, песками и алевритами.

Заключение

Учитывая неоднородное распределение бентосных организмов по акватории Северного Каспия, оценка состояния морской среды методом эталонов осложняется необходимостью выбора диапазона глубин, в котором присутствовало бы достаточное количество видов-биоиндикаторов. В работе показано, что применительно к органическому загрязнению, когда видами-биоиндикаторами являются оксифильные виды бентоса, метод эталонов может использоваться на глубинах 6–9 м и 14–18 м при развитии ракушечных и алевритовых донных отложений. На остальной части акватории следует использовать другие методы биоиндикации.

Следует отметить, что оценку сравниваемых участков следует проводить синхронно, поскольку северокаспийский бентос испытывает сезонные вариации [38]. Кроме того, отсутствующее в настоящее время определение северокаспийских олигохет и нематод по видам должно поспособствовать уточнению оценки методом эталонов. Также необходимо учитывать, что наблюдающиеся изменения уровня Каспийского моря [39] могут повлечь за собой изменение пространственного распределения солености северо-каспийских вод и, как следствие, экстремальных глубин ареала многих видов бентоса.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Гурбантур Ш.Б. Экологические проблемы Каспийского моря // Молодой ученый. 2010. Т. 1, № 5 (16). С. 128–131.
2. 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 г.). Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2019. С. 83–88.
3. Островская Е.В., Умриха А.В. Нефтяное загрязнение северо-западной части Каспийского моря: современное состояние и основные источники // Труды ГОИН. 2019. № 220. С. 209–220.
4. Карыгина Н.В., Попова Э.С., Львова О.А., Галлей Е.В., Яцун Е.В. О нефтяном и пестицидном загрязнении низовьев Волги и северной части Каспийского моря // Экология и природопользование: материалы международной научно-практической конференции (Магас, 21–23 октября 2020 г.). Назрань: ООО «КЕП», 2020. С. 250–257.
5. Ермолаева Н.И. К вопросу о биоиндикации нефтяного загрязнения пресноводных лимнических экосистем с использованием зоопланктона на примере озера Самотлор (ХМАО) // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 1. С. 77–90. <https://doi.org/10.31857/S0321059622010060>.
6. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация: учебное пособие. Тверь: Тверской государственный университет, 2004. 260 с.
7. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 240 с.
8. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие. СПб.: ГТУРП, 2012. 67 с.
9. Герасимов Ю.Л. Санитарная и техническая гидробиология: учебное пособие. Самара: Самарский университет, 2014. 48 с.
10. Максимов В.Н. Об одном способе оценки качества природных вод // Самоочищение и биоиндикация природных вод / под ред. М.М. Телитченко. М.: Наука, 1980. С. 212–219.
11. Максимов В.Н., Ганьшина Л.А., Абакумов В.А. Оценка качества воды в реке по видовому составу фитопланктона // Известия АН СССР. Серия биологическая. 1983. № 5. С. 731–743.
12. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность / под ред. Е.А. Яблонской. М.: Наука, 1985. 276 с.
13. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 262 с.

14. Дегтярева Л.В., Даурова Д.С., Кострыкина Т.А., Письменная О.А., Кашин Д.В. Экологическая валентность к кислороду северокаспийских мизид и кузовых ракообразных // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 32–41. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-32-41>.
15. Дегтярева Л.В., Кострыкина Т.А., Даурова Д.С., Кашин Д.В., Письменная О.А., Петренко Е.Л. Отношение кольчатых и круглых червей к кислороду в западной части Северного Каспия // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 20–27. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-1-20-27>.
16. Дегтярева Л.В., Кострыкина Т.А., Кашин Д.В. Отношение организмов семейства Gammaridae к содержанию кислорода в придонном слое воды в Северном Каспии // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 1. С. 61–67. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2020-1-61-67>.
17. Дегтярева Л.В., Лардыгина Е.Г., Кашин Д.В., Кострыкина Т.А. Формирование сообщества северокаспийских моллюсков в зависимости от абиотических факторов среды // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование: материалы II международной научно-практической конференции (Керчь, 27–30 мая 2020 г.). Симферополь: Ариал, 2020. С. 303–309.
18. Кашин Д.В., Дегтярева Л.В., Кострыкина Т.А. Экологическая валентность северокаспийских моллюсков к кислороду // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 29–38. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-29-38>.
19. Кашин Д.В., Зайцев В.Ф., Дегтярева Л.В., Даурова Д.С., Кострыкина Т.А. Толерантность северокаспийских корофид к кислороду как адаптация к газообмену // Каспий: прошлое, будущее, настоящее: сборник научных статей. Астрахань: Астраханский университет, 2021. С. 27–30.
20. Copilaș-Ciocianu D., Sidorov D. Taxonomic, ecological and morphological diversity of Ponto-Caspian gammaroidean amphipods: A review // Org. Divers. Evol. 2022. V. 22, No 2. P. 285–315. <https://doi.org/10.1007/s13127-021-00536-6>.
21. Плотников И.С. Многолетние изменения фауны свободноживущих водных беспозвоночных Аральского моря. СПб.: ЗИН РАН, 2016. 168 с.
22. Берникова Т.А., Демидова А.Г. Гидрология и гидрохимия. М.: Пищевая промышленность, 1977. 312 с.
23. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
24. Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Кашин Д.В., Дулимов А.Б. Продукционно-деструкционные процессы фитопланктона в Северном Каспии // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2000 г. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2001. С. 39–51.
25. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие. М.: Академия, 2007. 288 с.
26. Митина Н.Н., Малащенко Б.М., Телитченко Л.А. Подводные ландшафты Северного Каспия: структура, гидроэкология, охрана. М.: ИВП РАН; Типография Россельхозакадемии, 2016. 215 с.
27. Хрипунов И.А. Некоторые процессы осадкообразования в Северном Каспии, связанные с зарегулированием стока рек // Геолого-морфологические исследования Каспийского моря / под ред. Г.В. Воропаева, Л.И. Лебедева, О.К. Леонтьева. М.: Наука, 1983. С. 117–126.

28. *Немировская И.А., Бреховских В.Ф.* Генезис углеводородов во взвеси и в донных осадках северного шельфа Каспийского моря // *Океанология*. 2008. Т. 48, № 1. С. 48–58.
29. *Пахомова А.С.* К осадкообразованию в северной части Каспийского моря // *Труды ГОИН*. 1956. Вып. 31 (43). С. 80–106.
30. Атлас беспозвоночных Каспийского моря / под ред. Я.А. Бирштейна, Л.Г. Виноградовой, Н.Н. Кондакова, М.С. Кун, Т.В. Астаховой, Н.Н. Романовой. М.: Пищевая промышленность, 1968. 414 с.
31. *Сокольский А.Ф., Курашова Е.К., Степанова Т.Г.* Атлас основных кормовых организмов рыб Нижней Волги и Каспийского моря. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2002. 394 с.
32. *Батурина М.А., Лоскутова О.А.* Олигохеты некоторых пресных водоемов Арктики // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2010. Т. 3, № 2. С. 177–198.
33. *Карыгина Н.В., Дегтярева Л.В., Лардыгина Е.В.* Накопление органических соединений в донных отложениях маргинального фильтра Каспийского моря // *Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений: материалы V международной научно-практической конференции (Астрахань, 26–27 сентября 2013 г.)*. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2013. С. 100–103.
34. *Хрипунов И.А., Катунин Д.Н., Азаренко А.В.* Многолетние изменения гранулометрического состава и пространственного распределения донных отложений Северного Каспия // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37, № 6. С. 709–716.
35. *Катунин Д.Н.* Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте реки Волги. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2014. 478 с.
36. *Романкевич Е.А.* Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
37. *Холодов В.Н., Хрусталеv Ю.П., Лубченко И.Ю., Ковалев В.В., Туровский Д.С.* Каспийское море: проблемы седиментогенеза. М.: Наука, 1989. 184 с.
38. *Асаева К.И., Войнова М.В.* Сезонные и многолетние изменения пространственного распределения численности планктона и зообентоса в западной части Северного Каспия // *Проблемы региональной экологии, экономики и географии: материалы I международной научно-практической конференции (Астрахань, 28 марта 2018 г.)*. Астрахань: АГТУ, 2018. С. 47–56.
39. *Болгов М.В.* Колебания уровня Каспийского моря: история исследований и методы прогнозирования // *Изменение климата в регионе Каспийского моря: материалы международной научно-практической конференции (Астрахань, 27–28 октября 2021 г.)*. Астрахань: ИП Сорокин Р.В., 2022. С. 107–111.

Поступила в редакцию 11.12.2023

Принята к публикации 17.03.2024

Дегтярева Лариса Вячеславна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

ул. Ширяева, д. 14, г. Астрахань, 414045, Россия

E-mail: kaspmniz@mail.ru

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2024.2.312-323

**Recommendations for Using the Method of Standards
in Bioindication Studies of the Northern Caspian Sea**

L.V. Degtyareva

Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, 414045 Russia

E-mail: kaspmniz@mail.ru

Received December 11, 2023; Accepted March 17, 2024

Abstract

Despite the increasing water and sediment pollution in the western part of the Northern Caspian Sea, the quality of its marine environment has never been assessed through bioindication, largely due to methodological issues. In this article, the method of standards, which involves comparing the species composition between the polluted and clean (reference) sites, was used for the bioindication of organic pollutants in the Northern Caspian Sea. The study area was segmented based on isobaths. The segments were determined depending on the range of depths inhabited by zoobenthos species and their ecological valence to oxygen. The depths with a sufficient abundance of oxyphilic zooplankton species (bioindicators) to apply the method of standards were located. The obtained results show that the method of standards is a good and reliable choice to assess the marine environment quality in the Northern Caspian Sea at isobaths of 6–9 m and within depths of 14–18 m for polluted and reference sites. However, the sediments must contain shells, sand, and siltstones. Therefore, while the method of standards has clear merits, it does not suffice for the rest of the Caspian Sea area.

Keywords: Northern Caspian Sea, zoobenthos, bioindication, method of standards**Conflicts of Interest.** The author declares no conflicts of interest.**References**

1. Gurbanpur Sh.B. Ecological problems of the Caspian Sea. *Molodoi Uch.*, 2010, vol. 1, no. 5 (16), pp. 128–131. (In Russian)
2. Karygina N.V. On the content, distribution, and genesis of hydrocarbons in the Northern Caspian Sea. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdenii: materialy VII nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Astrakhan', 18 oktyabrya 2019 g.)* [Problems of the Caspian Ecosystem Conservation under the Conditions of Oil and Gas Field Development: Proc. VII Sci.-Pract. Conf. with Int. Participation (Astrakhan, Oct. 18, 2019)]. Astrakhan, Izd. KaspNIRKha, 2019, pp. 83–88. (In Russian)
3. Ostrovskaya E.V., Umrikha A.V. Oil pollution in the northwestern part of the Caspian Sea: Current state and major sources. *Tr. GOIN*, 2019, no. 220, pp. 209–220. (In Russian)
4. Karygina N.V., Popova E.S., L'vova O.A., Gallei E.V., Yatsun E.V. Oil and pesticide pollution of the Lower Volga River and the northern part of the Caspian Sea. *Ekologiya i prirodopol'zovanie: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Magas, 21–23 oktyabrya 2020 g.)* [Ecology and Nature Management: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. (Magas, Oct. 21–23, 2020)]. Nazran, OOO “KEP”, 2020, pp. 250–257. (In Russian)
5. Ermolaeva N.I. To the problem of bioindication of oil pollution of freshwater limnic ecosystems using zooplankton on the example of Lake Samotlor (KhMAO). *Water Resour.*, 2022, vol. 49, no. 1, pp. 109–121. <https://doi.org/10.1134/S0097807822010067>.

6. Turovtsev V.D., Krasnov V.S. *Bioindikatsiya: uchebnoe posobie* [Bioindication: A Study Guide]. Tver, Tver. Gos. Univ., 2004. 260 p. (In Russian)
7. Zenin A.A., Belousova N.V. *Gidrokhimicheskii slovar'* [Hydrochemical Dictionary]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988. 240 p. (In Russian)
8. Lyashenko O.A. *Bioindikatsiya i biotestirovanie v okhrane okruzhayushchei sredy: uchebnoe posobie* [Bioindication and Biotesting in Nature Conservation: A Study Guide]. St. Petersburg, GTURP, 2012. 67 p. (In Russian)
9. Gerasimov Yu.L. *Sanitarnaya i tekhnicheskaya gidrobiologiya: uchebnoe posobie* [Sanitary Hydrology and Hydrological Engineering: A Study Guide]. Samara, Samar. Univ., 2014. 48 p. (In Russian)
10. Maksimov V.N. A method for natural water quality assessment. In: Telitchenko M.M. (Ed.) *Samoochishchenie i bioindikatsiya prirodnikh vod* [Self-Purification and Bioindication of Natural Waters]. Moscow, Nauka, 1980, pp. 212–219. (In Russian)
11. Maksimov V.N., Gan'shina L.A., Abakumov V.A. Evaluation of river water quality according to the species composition of the phytoplankton. *Biol. Bull. Acad. Sci. USSR*, 1983, vol. 10, no. 4. pp. 426–436.
12. *Kaspiiskoe more. Fauna i biologicheskaya produktivnost'* [Caspian Sea. Fauna and Biological Productivity]. Yablonskaya E.A. (Ed.). Moscow, Nauka, 1985. 276 p. (In Russian)
13. *Kaspiiskoe more. Gidrologiya i gidrokhiymiya* [Caspian Sea. Hydrology and Hydrochemistry]. Moscow, Nauka, 1986. 262 p. (In Russian)
14. Degtyareva L.V., Dairova D.S., Kostrykina T.A., Pismennaya O.A., Kashin D.V. Ecological valency to oxygen in mysids and cumaceans. *Vestn. Astrakh. Gos. Tekh. Univ. Ser.: Rybn. Khoz.*, 2019, no. 4, pp. 32–41. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-32-41>. (In Russian)
15. Degtyareva L.V., Kostrykina T.A., Dairova D.S., Kashin D.V., Pismennaya O.A., Petrenko E.L. Dependence of segmented and round worms on oxygen in the western part of the Northern Caspian Sea. *Vestn. Astrakh. Gos. Tekh. Univ. Ser.: Rybn. Khoz.*, 2019, no. 1, pp. 20–27. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-1-20-27>. (In Russian)
16. Degtyareva L.V., Kostrykina T.A., Kashin D.V. Reaction of Gammaridae to oxygen contained in the bottom layer of the North Caspian Sea. *Vestn. Astrakh. Gos. Tekh. Univ. Ser.: Rybn. Khoz.*, 2020, no. 1, pp. 61–67. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2020-1-61-67>. (In Russian)
17. Degtyareva L.V., Lardygina E.G., Kashin D.V., Kostrykina T.A. The impact of abiotic environmental factors on the development of the Northern Caspian mollusk community. *Biologicheskoe raznoobrazie: izuchenie, sokhranenie, vosstanovlenie, ratsional'noe ispol'zovanie: materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Kerch, 27–30 maya 2020 g.)* [Biological Diversity: Study, Conservation, Restoration, and Sustainable Use: Proc. II Int. Sci.-Pract. Conf. (Kerch, May 27–30, 2020)]. Simferopol, Arial, 2020, pp. 303–309. (In Russian)
18. Kashin D.V., Degtyareva L.V., Kostrykina T.A. Ecological valence of the Northern Caspian mollusks to oxygen. *Vestn. Astrakh. Gos. Tekh. Univ. Ser.: Rybn. Khoz.*, 2022, no. 4. pp. 29–38. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-29-38>. (In Russian)
19. Kashin D.V., Zaitsev V.F., Degtyareva L.V., Dairova D.S., Kostrykina T.A. Oxygen tolerance of corophiids from the Northern Caspian Sea as an adaptation to gas exchange. In: *Kaspii: proshloe, budushchee, nastoyashchee: sbornik nauchnykh statei* [Caspian Sea: Past, Future, and Present: A Collection of Articles]. Astrakhan, Astrakh. Univ., 2021, pp. 27–30. (In Russian)
20. Copilaş-Ciocianu D., Sidorov D. Taxonomic, ecological and morphological diversity of Ponto-Caspian gammaroidean amphipods: A review. *Org. Diversity Evol.*, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 285–315. <https://doi.org/10.1007/s13127-021-00536-6>.
21. Plotnikov I.S. *Mnogoletnie izmeneniya fauny svobodnozhivushchikh vodnykh bespozvonochnykh Aral'skogo morya* [Long-Term Changes in the Fauna of Free-Living Aquatic Invertebrates of the Aral Sea]. St. Petersburg, ZIN Ross. Akad. Nauk, 2016. 168 p. (In Russian)
22. Bernikova T.A., Demidova A.G. *Gidrologiya i gidrokhiymiya* [Hydrology and Hydrochemistry]. Moscow, Pishch. Prom-st', 1977. 312 p. (In Russian)

23. Lisitzin A.P. Marginal filter in the oceans. *Oceanology*, 1995, vol. 34, no. 5, pp. 671–682.
24. Katunin D.N., Khripunov I.A., Kashin D.V., Dulimov A.B. Production and destruction processes of phytoplankton in the Northern Caspian Sea. In: *Rybokhozyaistvennyye issledovaniya na Kaspii. Rezul'taty NIR za 2000 g.* [Fish Surveys in the Caspian Sea. RD Findings for 2000]. Astrakhan, Izd. KaspNIRKha, 2001. pp. 39–51. (In Russian)
25. Melekhova O.P., Egorova E.I., Evseeva T.I. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie: uchenoe posobie* [Biological Environmental Control: Bioindication and Biotesting: A Study Guide]. Moscow, Akademiya, 2007. 288 p. (In Russian)
26. Mitina N.N., Malashenkov B.M., Telitchenko L.A. *Podvodnye landshafty Severnogo Kaspiya: struktura, gidroekologiya, okhrana* [Underwater Landscapes of the North Caspian Sea: Structure, Hydroecology, and Conservation]. Moscow, IVP Ross. Akad. Nauk, Tip. Rossel'khozakad., 2016. 215 p. (In Russian)
27. Khripunov I.A. Some sediment formation processes in the North Caspian Sea associated with river runoff regulation. In: *Geologo-morfologicheskie issledovaniya Kaspiiskogo morya* [Studies on the Geology and Geomorphology of the Caspian Sea]. Voropaev G.V., Lebedev L.I., Leont'ev O.K. (Eds.). Moscow, Nauka, 1983, pp. 117–122. (In Russian)
28. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F. Origin of hydrocarbons in the particulate matter and bottom sediments of the northern shelf of the Caspian Sea. *Oceanology*, 2008, vol. 48, no. 1, pp. 43–53. <https://doi.org/10.1134/S0001437008010062>.
29. Pakhomova A.S. Sedimentation in the northern part of the Caspian Sea. *Trudy GOIN*, 1956, no. 31 (43), pp. 80–106. (In Russian)
30. *Atlas bespozvonochnykh Kaspiiskogo morya* [Atlas of the Caspian Sea Invertebrates]. Birshtein Ya.A., Vinogradova L.G., Kondakov N.N., Kun M.S., Astakhova T.V., Romanova N.N. (Eds.). Moscow, Pishch. Prom-st', 1968. 414 p. (In Russian)
31. Sokol'skii A.F., Kurashova E.K., Stepanova T.G. *Atlas osnovnykh kormovykh organizmov ryb Nizhnei Volgi i Kaspiiskogo morya* [Atlas of Main Food Organisms for Fishes in the Lower Volga River and the Caspian Sea]. Astrakhan, Izd. KaspNIRKha, 2002. 394 p. (In Russian)
32. Baturina M.A., Loskutova O.A. Oligochaeta of some Arctic freshwater ecosystems. *Zh. Sib. Fed. Univ. Biol.*, 2010, vol. 3, no 2, pp. 177–198. (In Russian)
33. Karygina N.V., Degtyareva L.V., Lardygina E.V. Accumulation of organic compounds in the bottom sediments of the Caspian Sea marginal filter. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdenii: materialy V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astrakhan', 26–27 sentyabrya 2013 g.)* [Problems of the Caspian Sea Ecosystem Conservation under the Conditions of Oil and Gas Fields Development (Astrakhn, Sept. 26–27, 2013)]. Astrakhan, Izd. KaspNIRKha, 2013, pp. 100–103. (In Russian)
34. Khripunov I.A., Katunin D.N., Azarenko A.V. Long-term variations in the granulometric composition and spatial distribution of bottom sediments in the Northern Caspian Sea. *Water Resour.*, 2010, vol. 37, no. 6, pp. 834–841. <https://doi.org/10.1134/S0097807810060096>.
35. Katunin D.N. *Gidroekologicheskie osnovy formirovaniya ekosistemnykh protsessov v Kaspiiskom more i del'te reki Volgi* [Hydroecological Principles of the Formation of Ecosystem Processes in the Caspian Sea and the Volga Delta]. Astrakhan, Izd. KaspNIRKha, 2014. 478 p. (In Russian)
36. Romankevich E.A. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva v okeane* [Geochemistry of Organic Matter in Ocean]. Moscow, Nauka, 1977. 256 p. (In Russian)
37. Kholodov V.N. *Kaspiiskoe more. Problemy sedimentogeneza* [The Caspian Sea. Problems of Lithogenesis]. Moscow, Nauka, 1989. 184 p. (In Russian)
38. Asaeva K.I., Voinova M.V. Seasonal and long-term changes in the spatial distribution of plankton and zoobenthos abundance in the western part of the North Caspian Sea. *Problemy regional'noi ekologii, ekonomiki i geografii: materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astrakhan', 28 marta 2018 g.)* [Problems of Regional Ecology, Economics, and Geography: Proc. I Int. Sci.-Pract. Conf. (Astrakhan, Mar. 28, 2018)]. Astrakhan, AGTU, 2018, pp. 47–56. (In Russian)

39. Bolgov M.V. Caspian Sea level fluctuations: A history of studies and methods of predictions. *Izmeneniye klimata v regione Kaspiiskogo morya: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astrakhan', 27–28 oktyabrya 2021 g.)* [Climate Change in the Caspian Sea Region: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. (Astrakhan, Oct. 27–28, 2021)]. Astrakhan, IP Sorokin R.V., 2022, pp. 107–111. (In Russian)

⟨ **Для цитирования:** Дегтярева Л.В. Рекомендации к применению метода эталонов для биоиндикационных исследований Северного Каспия // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2024. Т. 166, кн. 2. С. 312–323. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.2.312-323>. ⟩

⟨ **For citation:** Degtyareva L.V. Recommendations for using the method of standards in bioindication studies of the Northern Caspian Sea. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2024, vol. 166, no. 2, pp. 312–323. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.2.312-323>. (In Russian) ⟩