

DOI 10.31029/vestdnc96/3

УДК 574.21:581.526.325

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ САПРОБНОСТЬ КАСПИЯ И РЕКИ ВОЛГИ

Т. Н. Зимина¹, ORCID: 0000-0002-2095-8035

А. Г. Ардабьева¹, ORCID: 0009-0005-4577-2914

А. В. Котельников², ORCID: 0000-0002-0176-0664

¹Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ "ВНИРО" ("КаспНИРХ"), Астрахань, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

ECOLOGICAL SAPROBILITY OF THE CASPIAN SEA AND THE VOLGA RIVER

T. N. Zimina¹, ORCID: 0000-0002-2095-8035

A. G. Ardabyeva¹, ORCID: 0009-0005-4577-2914

A. V. Kotelnikov², ORCID: 0000-0002-0176-0664

¹Volga-Caspian branch of the State Research Center of the Russian Federation,
Federal State Budgetary Institution "VNIRO" ("CaspNIRKh"), Astrakhan, Russia

²Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Аннотация. Выявлены основные и общие виды-индикаторы фитопланктона Северного, Среднего Каспия и участка реки Волги. В ходе анализа установлена идентичность морских участков и отличие их от речных вод. В результате исследования зафиксированы изменения показателей сапробности на исследуемых акваториях за ряд лет, что способствует проведению качественного экологического мониторинга Каспийского моря как важного объекта для экономики Прикаспийского региона.

Abstract. The main and common indicator species of phytoplankton of the Northern, Middle Caspian and the Volga River sections have been identified. The analysis has established the identity of the marine areas and their differences from the river waters. As a result of the study, changes in saprobility indicators in the studied waters have been recorded over a number of years which contributes to high-quality environmental monitoring of the Caspian Sea as an important facility for the economy of the Caspian region.

Ключевые слова: сапробность, Каспийское море, река Волга, фитопланктон, виды-индикаторы.

Keywords: saprobility, the Caspian Sea, the Volga River, phytoplankton, indicator-species.

Введение

Система сапробности впервые была предложена Р. Кольквитцем и М. Марссоном [1] и всегда являлась предметом дискуссий среди исследователей. В некоторых работах авторы отмечают устаревшую систему видов-индикаторов, другие ссылаются на отсутствие учета иных видов загрязнений, критикуя предложенную систему [2]. Привлекательность системы сапробности рассмотрена в работе В.К. Шитикова, Т.Д. Зинченко, Л.В. Головатюк [3]. Наиболее известную модификацию первоначальной системы произвел В. Сладечек [4]. Иная классификация зон сапробности, выделение внутрисапробных зон и основное изменение методики, а именно сравнения некоторых бактериологических и химических показателей с отдельными ступенями сапробности, привело в итоге к созданию Сладечком общей «биологической» схемы качества вод. В работе «Количественная гидроэкология: методы системной идентификации» [5] подробно рассматривается понятие сапробности и значение данной системы.

В работах по изучению состояния водохранилищ применяется сапробиологический анализ и отмечается, что повышенная сапробность может быть обусловлена поступлением вод, испытывающих значительное антропогенное воздействие [6]. В современных работах учеными выделяется преимущество сапробиологического анализа в качестве именно общей оценки состояния экосистемы [7].

Целью данной работы является изучение степени загрязненности вод на основе системы сапробности в речных и морских водах

Материалы и методы исследования

Исследования сапробности проводились на основе анализа видового и количественного составов фитопланктона в летний период 2019–2022 гг. Северного Каспия по стандартной сетке, которая включает 77 станций, Среднего Каспия по разрезам: г. Махачкала – м. Сагындык, г. Дербент – м. Песчаный,

п. Дивичи – бух. Кендерли; участка р. Волги от станции Дубовка (хутор Бундино) до тони 11-я Огневка. Материал морских проб отбирался гидрозондом Seabird SBE 19 с горизонтов 0, 10, 25, 50, 100, 200 м. Речные пробы отбирали с помощью батометра Молчанова. Всего собрано и обработано в соответствии с общепринятой методикой П.И. Усачева [9] 405 проб. Определение индекса сапробности производилось на основе метода Пантле и Букка в модификации Сладечека. Данный метод основан на характеристике степени загрязнения индексом сапробности (S). Определив индикаторную значимость (s_i) для олигосапробов, β -мезосапробов и α -мезосапробов, устанавливается частота встречаемости данных видов в общем фитосоставе [10]. На основе выше изложенного рассчитывается индекс сапробности с применением формулы:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N (s_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^N h_i},$$

где N – число выбранных видов-индикаторов; h_i – относительная численность i -го вида; s_i – индивидуальный индекс сапробности i -го вида [1]. С учетом индекса сапробности определяется класс качества вод (табл. 1).

Таблица 1. Определение класса качества вод по индексу сапробности

Класс качества вод	Характер степени загрязнения	Индекс сапробности по Пантле и Букку (в модификации Сладечека)	Зона сапробности
1	Очень чистые	менее 1,00	олигосапробная
2	Чистые	1,00–1,50	
3	Умерено-загрязненные	1,51–2,50	β -мезосапробная
4	Загрязненные	2,51–3,50	α -мезосапробная
5	Грязные	3,51–4,00	полисапробная
6	Очень грязные	более 4,00	

Система сапробности основана на быстрой и содержательной оценке типа водоема, обусловлена соотношением обилия отдельных видов индикаторных организмов. По мнению некоторых авторов, с одной стороны, система сапробности – это «классификация организмов» по их способности жить в загрязнении (органической нагрузке, недостатку кислорода, присутствию соединений сероводорода). С другой стороны, данная система понимается как «классификация водоемов», то есть соотношение в воде двух абиотических факторов: «концентрации органических веществ естественного (в основном, детритного) характера» и «концентрации растворенного кислорода». Всего при оценке сапробности выделяют четыре зоны:

- полисапробная (ρ -сапробная) зона, где наблюдается сильное органическое загрязнение и низкое содержание или отсутствие кислорода. Характеризуется незначительным видовым разнообразием при их высоком количестве;
- альфа-мезосапробная (α) зона, где имеется некоторое количество кислорода, с большим числом видов организмов;
- бета-мезосапробная зона (β) зона, где гниение приближается к минерализации. Разнообразие видов достаточно велико, как и их количество;
- олигосапробная зона характерна для чистых вод с высоким содержанием кислорода [5].

Результаты исследования

В ходе сапробиологического анализа изучаемого участка реки Волги индекс сапробности составил 1,34 в 2019 г., а число видов индикаторов составило 34 таксономических единиц. В 2020 г. индекс был

несколько выше и достиг 1,38, при этом количество видов индикаторов снизилось до 28 таксонов. В 2021 г. количество видов индикаторов не изменилось относительно 2020 г., но индекс сапробности стал выше – 1,44. Выявленные значения соответствуют олигосапробной зоне и характеризуют в эти периоды воды р. Волги как чистые. В 2022 г. индекс сапробности составил 1,56, что определяет уже β -мезо-сапробную зону [10]. Видов-индикаторов при этом стало больше – 35 таксонов. Основные виды-индикаторы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные виды-индикаторы фитопланктона в р. Волге за исследуемый период

α -мезосапробы	β -мезосапробы	Олигосапробы
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
<i>Surirella librile</i>	<i>Staurosira construens</i>	<i>Stephanodiscus binderanus</i>
<i>Phormidium chalybeum</i>	<i>Ulnaria ulna</i>	<i>Diatoma elongatum</i>
<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Actinastrum hantzschii</i>
	<i>Prorocentrum cordatum</i>	<i>Asterionella formosa</i>
		<i>Asterionella formosa v. gracillima</i>
		<i>Fragilaria capucina</i>
		<i>Microcystic aeurogonosa</i>
		<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
		<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>

В Северном Каспии на протяжении всего периода исследования была установлена β -мезо-сапробная зона, где класс качества вод (третий) характеризует ее как умеренно загрязненную [10]. Индекс сапробности в 2019 г. составил 1,56 и 42 вида-индикатора (табл. 3). В последующие годы исследования индекс сапробности был несколько выше (2020 г. – 1,61; 2021 г. – 1,65) при снижении числа видов-индикаторов (34 в 2020 г. и 33 в 2021 г.). В 2022 г. индекс сапробности стал ниже (1,53) и значительно увеличилось число видов-индикаторов (62 вида).

Таблица 3. Основные виды-индикаторы фитопланктона в Северном Каспии за исследуемый период

α -мезосапробы	β -мезосапробы	Олигосапробы
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Aphanizomenon.issatschenkoi</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
<i>Peridinium latum var halophile</i>	<i>Aphanizomenon. flos-aquae</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
<i>Euglena viridis</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Chroococcus minutus</i>
<i>Surirella librile</i>	<i>Actinocyclus caspicus</i>	<i>Merismopedia punctate</i>
<i>Phormidium chalybeum</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Staurosira construens</i>	
	<i>Prorocentrum cordatum</i>	
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	
	<i>Chaetoceros wighami</i>	
	<i>Ulnaria ulna</i>	
	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	
	<i>Navicula diluviana</i>	

Анализ сапробности в Среднем Каспии позволил отнести его воды к β -мезо-сапробной зоне, где происходят процессы самоочищения [10]. В 2020 г. индекс сапробности составил 1,8, в остальные годы исследования – 1,9. Количество видов-индикаторов в 2019 г. составило 42 таксономических единиц, в 2020 г. число видов-индикаторов было незначительно больше и составило 46 единиц. В период 2021–2022 гг. их количество снизилось до 35 и 31 таксонов соответственно (табл. 4).

Общими видами-индикаторами в водах р. Волги, Северного и Среднего Каспия за весь период исследования среди β -мезосапробов, которые менее требовательны к окружающим условиям среды, были виды *S. meneghinianus*, *P. cordatum*, *S. construens*, *Unaria ulna*. Среди организмов α -мезосапробной зоны

являлись *Oscillatoria* sp. и *N. acicularis*. Организмы олигосапробной зоны были представлены видами *A. granulata*, *S. hantzschii*, *P. calcar-avis*.

Таблица 4. Основные виды индикаторы фитопланктона Среднего Каспия за период исследования

α -мезосапробы	β -мезосапробы	Олигосапробы
<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>A. issatschenkoi</i>	<i>Stephanodiscus binderanus</i>
<i>Peridinium latum</i> var <i>halophile</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>S. hantzschii</i>
<i>Euglena viridis</i>	<i>Actinocyclus caspicus</i>	<i>Diatoma elongatum</i>
	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	<i>Epithemia adnata</i>
	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	<i>Gyrosigma accuminatum</i>
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Actinastrum hantzschii</i>
	<i>Staurosira construens</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
	<i>Ulnaria ulna</i>	
	<i>Navicula cryptocephala</i>	
	<i>Prorocentrum cordatum</i>	

Стоит отметить, что такой метод биоиндикации дает возможность зафиксировать последствия кратковременного загрязнения водоема. И хотя принято, что система сапробности учитывает фактически только нетоксичные органические загрязнения, которые влияют на организмы в первую очередь через изменение кислородного режима, она не теряет своей актуальности. Например, по мнению Л.П. Брагинского [11], способность организмов реагировать на токсичные загрязнения в целом соответствует их сапробности и виды, устойчивые к органическому загрязнению, в целом устойчивы и к токсическим загрязнениям.

Заключение

Таким образом, изучив сапробиологическое состояние исследуемых вод, можно сделать вывод о том, что индекс сапробности, как и число видов-индикаторов, изменялись в основном незначительно на протяжении периода исследования на каждом рассмотренном участке. Северный и Средний Каспий относились к третьему классу качества вод, речные воды – к зоне «чистых» вод, за исключением 2022 г. В это время зона сапробности фитопланктона реки и моря была одинаковой и отмечалось значительное количественное преобладание некоторых видов группы зеленых (Chlorophyta) водорослей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 317 с.
2. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Милько Е.С. Экологический контроль окружающей среды по данным биологического и физико-химического мониторинга природных объектов // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. Т. 2, № 2. С. 199–207. URL: <https://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm2010-2-2/crm10209.pdf> (дата обращения: 20.05.2024).
3. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Метод оценки качества поверхностных вод по макробентосу на основе видовых индикаторных валентностей // Материалы II Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды». Минск, 2003. С. 537–540.
4. Макрушин А.В., Кутикова Л.А. Сравнительная оценка методов Пантле и Букка в модификации Сладечека и Зелинки и Марвана для определения степени загрязнения по зоопланктону // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1976. С. 90–94.
5. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
6. Соловьева В.В., Корнева Л.Г. Современная характеристика сапробности Рыбинского водохранилища по фитопланктону // Вода: химия и экология. 2012. № 5. С. 18–23.
7. Нестеров С.С. Использование методов биоиндикации и химического анализа воды для мониторинга экологического состояния и уровня сапробности водоемов // Молодой ученый. 2022. № 19 (414). С. 39–46. URL: <https://moluch.ru/archive/414/91467/> (дата обращения: 29.05.2024).

8. *Свердруп А.Е., Фролова Л.Л.* Исследование консенсусных аминокислотных последовательностей маркерного белка rbcL фитопланктонных организмов по группам сапробности // Научный форум 2024 : сборник статей Международной научно-практической конференции (9 января 2024 г.). Петрозаводск: МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2024. С. 217–222.
9. *Усачев П.И.* Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Тр. Всесоюз. гидробиолог. о-ва АН СССР. 1961. Т. 11. С. 411–415.
10. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III: Методы биологического анализа вод // Атлас сапробности организмов. М., 1977. 100 с.
11. *Брагинский Л.П.* Теоретические аспекты проблемы нормы и патологии в водной экотоксикологии // Теоретические вопросы водной токсикологии. Л.: Наука, 1981. С. 29–40.

Поступила в редакцию 24.10.2024 г.

Принята к печати 26.03.2025 г.

* * *

Зими́на Татьяна Николаевна, специалист, Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); e-mail: tanyshka_0704@mail.ru

Tatyana N. Zimina, specialist, Volga-Caspian branch of the State Scientific Center of the Russian Federation, Federal State Budgetary Institution "VNIRO" ("CaspNIRKh"); email: tanyshka_0704@mail.ru

Ардабьева Алевтина Георгиевна, кандидат биологических наук, главный специалист, Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); e-mail: ardabeva202@mail.ru

Alevtina G. Ardabyeva, Candidate of Biology, main specialist, Volga-Caspian Branch of the State Scientific Center of the Russian Federation, Federal State Budgetary Institution "VNIRO" ("CaspNIRKh"); e-mail: ardabeva202@mail.ru

Котельников Андрей Вячеславович, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры гидробиологии и общей экологии, Астраханский государственный технический университет; e-mail: kotas@inbox.ru

Andrey V. Kotelnikov, Doctor of Biology, associate professor, professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; e-mail: kotas@inbox.ru