

СОСТАВ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ЛАГУН НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ В СЕНТЯБРЕ 2022 г.

Ю.Ю. Полунина¹, Е.Д. Краснова², Д.А. Воронов³

¹*ИО РАН, г. Москва, jul_polunina@mail.ru*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e_d_krasnova@mail.ru*

³*ИППИ РАН, г. Москва, da_voronov@mail.ru*

THE COMPOSITION AND VERTICAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN THE STRATIFIED LAGOONS ON THE WHITE SEA COAST IN SEPTEMBER 2022

Ju.Ju. Polunina¹, E.D. Krasnova², D.A. Voronov³

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

³*Institute for Information Transmitting Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Аннотация. Выявлены особенности состава, структуры и количественных показателей зоопланктона четырех стратифицированных водоемов, расположенных на побережье Белого моря в сентябре 2022 г. В зависимости от степени изоляции от моря и вариаций солености водоемов изменялось число видов, их вертикальное распределение и численность всего зоопланктона. Отмечен рост общей численности зоопланктона при усилении изоляции водоема от моря.

Ключевые слова: стратифицированные лагуны, зоопланктон, вертикальное распределение, Белое море.

Введение

На побережье Белого моря из-за послеледникового поднятия берега образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от моря. Одно из следствий изоляции – формирование в этих водоемах круглогодичной вертикальной стратификации. В нижней части таких водоемов сохраняется морская вода, а в верхней – в разной степени опресненная. Вертикальная структура водоемов состоит обычно из пяти слоев: верхнего опресненного, слоя скачка плотности (пикноклина), и соленого слоя, который подразделен на верхний аэробный и нижний анаэробный с хемоклином между ними. Каждый слой обладает специфическими физико-химическими характеристиками и биотой. Зоопланктон в таких водоемах имеет выраженную приуроченность к определенному слою воды по видовому составу и количественным показателям.

В беломорских отделяющихся водоемах зоопланктон изучен фрагментарно. Исследование зоопланктона двух таких водоемов по однократно отобраным тотальным пробам показало его низкое разнообразие и набор эвригалинных видов, характерных для поверхностных слоев Кандалакшского залива [4]. В последующих работах были выявлены отличия видового состава и вертикальной неоднородности зоопланктона водоемах на разных стадиях изоляции от моря. Выяснилось, что важным фактором вертикальной неоднородности зоопланктона служит хемоклин, возле которого концентрируются некоторые виды, привлекаемые высокопродуктивным сообществом микроорганизмов с аноксигенными фототрофами и цветением одноклеточных водорослей. Были обнаружены формы, которые обитают преимущественно или исключительно в

хемоклине, в их числе морские виды коловраток из рода *Synchaeta* и личинки полихет *Polydora cf. ciliata* [1, 2]. Однако сведений о фаунистическом составе, особенностям вертикального распределения отдельных групп и видов зоопланктона в стратифицированных водоемах, находящихся на разной степени изоляции от Белого моря, недостаточно. Цель работы – выявить особенности состава и вертикального распределения зоопланктона в четырех прибрежных меромиктических водоемах с придонной аноксией на побережье Белого моря.

Материалы и методы

Материалы отобраны в четырёх стратифицированных водоемах в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова в сентябре 2022 г.: в ковшовой бухте Биофильтров, морской лагуне на Зеленом Мысе (ЛЗМ), лагуне под названием «озеро Кисло-Сладкое» и в оз. Еловое. Водоемы перечислены в порядке усиления изоляции от моря. Они различаются глубиной, соленостью поверхностного слоя воды и диапазоном ее сезонной изменчивости.

Перед отбором проб зоопланктона были определены физико-химические характеристики основных слоев воды и положение границ между ними. Кондуктометром-зондом YSI Pro измеряли температуру, соленость и окислительно-восстановительный потенциал на разной глубине; зондом-оксиметром YSI Pro ODO определяли концентрацию растворенного кислорода. Измерения проводили с шагом по вертикали 0,5 м, в зоне хемоклина – с шагом 0,1 м. В морской бухте измерения проводили через 1,0 м, а в градиентной зоне через 0,25 м.

Пробы зоопланктона отбирали в максимально глубокой точке водоемов двумя способами. 1) Насосом Whale Premium Submersible Pump GP1352 с размеченным кабелем. Интервалы между горизонтами отбора проб соответствовали таковым при гидрологических измерениях. 2) Малой сетью Джеди (d=14 см, ячей 100 мкм) с замыкателем. Облавливали крупные слои – поверхностный слой (верхний квазиоднородный слой – ВКС); слой термоклина; слой ниже начала галоклина. Пробы фиксировали, обрабатывали по стандартным методикам [3].

Результаты и обсуждение

Некоторые гидрологические показатели водоемов в период наших исследований приведены в таблице 1.

Зоопланктон четырех водоемов был представлен 28 видами и таксонами более крупного порядка, из которых Rotifera – 13, Copepoda – 12, Cladocera – 3. В меропланктоне отмечены личинки брюхоногих, двустворчатых моллюсков и полихет. Коловратки были представлены преимущественно пресноводными видами, отмечены несколько родов, обитающих в условиях повышенной солености: *Synchaeta*, *Colurella*, *Dicranophorus* и вид *Brachionus plicatilis*. В группе веслоногих ракообразных преобладали морские виды калянид и циклопов. Наиболее низкое разнообразие было у кладоцер – отмечен пресноводный вид *Bosmina longirostris* (O.F.Muller, 1776) и два широко распространенных в Голарктике морских вида *Evadne nordmanni* Lovén, 1836 и *Podon leuckartii* Sars 1862.

Таблица 1. Некоторые гидрологические показатели стратифицированных лагун Белого моря, сентябрь 2022 г.

Водоемы / Показатели	Еловое	Кисло-Сладкое	ЛЗМ	бухта Биофильтров
Глубина, м	5,5	4,5	6,5	16
Т воды °С; min/ max	9,0/16,0	9,7/14,4	11,1/13,5	8,5/1,9
Соленость в ВКС, psu	0,3-17,7	20-21	23,2-23,9	23,8-24,9
Соленость у дна, psu	21,7	22,4	26,2	24,5
Хемоклин, м	3,0	3,5	5,2	8,5
Периодичность забросов воды из моря	Несколько десятилетий	Ежемесячная	На максимуме каждого прилива	Не изолирована

Состав и структура зоопланктона водоемов различались и во многом были обусловлены разными соленостными условиями водоемов и степенью изоляции от вод Кандалакшского залива.

Озеро Еловое, где в поверхностном слое вода была почти пресная, а ниже глубины 2 м соленость воды возрастала и у дна достигла почти 22 psu (табл.1), разнообразие зоопланктона было высоким – 18 видов. Здесь было отмечено максимальное число видов коловраток – 11, при этом в пробах, отобранных насосным методом, присутствовали все эти виды, а сетным методом – только четыре вида. Все коловратки были пресноводными, за исключением солоноватоводных *Brachionus plicatilis* и рода *Synchaeta*. Веслоногие рачки были представлены пятью видами и выявлены в пробах, отобранных обоими методами. Здесь отмечен только один вид кладоцер *Bosmina longirostris*. В поверхностном слое этого водоема (0,0-1,0 м) комплекс доминирующих видов: *Keratella quadrata* (O.F.Muller), *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880), *Bosmina longirostris*; здесь отмечена максимальная численность зоопланктона – почти 30 тыс. экз./м³, с глубиной численность снижалась и на горизонте 2,0-3,0 м была всего 0,4 тыс. экз./м³. Начиная с глубины 1,5 м состав зоопланктона менялся: стала доминировать солоноватоводная коловратка *Brachionus plicatilis*, а среди ракообразных – науплии *Acartia* и *Temora*. Численность *Acartia bifilosa* возрастала по направлению к хемоклину.

Оз. Кисло-Сладкое при небольшой глубине и диапазоне солености 20,0-22,4 psu отличалось минимальным разнообразием зоопланктона – всего 8 видов. В поверхностном слое доминировали ювенильные стадии *Acartia*, в более глубоких слоях ювенильные стадии и взрослые особи *Acartia bifilosa* (Giesbrecht, 1881), а также *Acartia tonsa* Dana, 1849, которая считается чужеродным видом в водах европейских морей. Наличие *A. tonsa* является необычной находкой для вод Белого моря. Видовая идентификация подтверждена фотографиями общего вида и V пары ног самки. Однако требуются дополнительные исследования и отбор проб в другие сезоны года для анализа встречаемости и статуса популяции *A. tonsa*. Общая численность зоопланктона изменялась по вертикали: минимальные показатели отмечены в поверхностном слое (0-1,5 м) – всего около 2 тыс. экз./м³, а в промежуточном слое (1,5-2,5 м) и слое ниже начала галоклина (2,5-3,5 м) численность возросла почти в 20 раз.

Поверхностные воды лагуны на Зеленом Мысе и бухты Биофильтров имели сходные показатели солености, соответствующие таковой в прилегающей морской акватории – 23,2-24,9 psu. Зоопланктон этих водоемов был представлен 15 и 12 видами, соответственно. Комплекс доминирующих видов имел некоторые отличия. В ЛЗМ доминировали морские каляниды *A. bifilosa*, *Temora longicornis* (Müller O.F., 1785), циклоп *Oithona similis* Claus, 1866 и личинки полихет. В бухте Биофильтров массовыми видами были каляниды *A. bifilosa*, *Acartia longiremis* (Lilljeborg, 1853), циклопы *O. similis*, *Oncaea borealis* Sars G.O., 1918. По сравнению с ЛЗМ здесь были более многочисленны копеподиты рода *Pseudocalanus* и морская гарпактицида *Microsetella norvegica* (Boeck, 1865). В целом, фаунистический состав зоопланктона бухты Биофильтров имел более морской облик, чем в ЛЗМ.

Вертикальное распределение зоопланктона в этих двух водоемах существенно различалось. В поверхностном слое ЛЗМ (0,0-3,0 м) по данным сетных ловов численность зоопланктона составляла почти 3 тыс. экз./м³, при этом 86% всей численности составляли личинки полихет, являющиеся временным компонентом зоопланктона. Ниже, в слое (3,0-5,0 м) общая численность зоопланктона возросла до 8,4 тыс. экз./м³, здесь отсутствовали личинки полихет, а основу сообщества составляли веслоногие рачки. В бухте Биофильтров вертикальное распределение зоопланктона имело противоположное направление по данным сетных проб. В поверхностном слое (0,0-4,0 м) численность зоопланктона достигала 8 тыс. экз./м³, а в более глубоком слое (4,0-6,0 м) была почти в два раза меньше – 4,4 тыс. экз./м³, при этом структура сообщества была схожей, но в поверхностном слое преобладали ювенильные стадии веслоногих ракообразных, а в более глубоком – половозрелые особи.

При отборе проб насосом благодаря его точному позиционированию на конкретной глубине были выявлены особенности детального вертикального распределения зоопланктона. В каждом водоеме структура и количество зоопланктона менялись по глубине: число особей отдельных видов возрастало или уменьшалась с глубиной, но в целом, отражало тенденцию, выявленную при отборе проб сетью.

Численность зоопланктона, рассчитанная в столбе воды в каждом водоеме, убывала в ряду: оз. Кисло-Сладкое (23,8 тыс.экз./м³) → Еловое (10,3 тыс.экз./м³) → Бухта Биофильтров (6,6 тыс.экз./м³) → ЛЗМ (5,1 тыс.экз./м³) и в целом возрастала при изоляции водоема. Однако, для подтверждения выявленной тенденции требуется анализ материала, собранного и в другие сезоны года.

Сравнение наших данных с предыдущими исследованиями показало, что в озере Кисло-Сладкое и ЛЗМ в августе 2001 г. общая численность в столбе воды составляла около 1 и 6 тыс. экз./м³ соответственно [4], что существенно ниже, чем в нашем исследовании. Это иллюстрирует значительную изменчивость количественных показателей зоопланктона полужамкнутых акваторий.

Таким образом, исследуемые стратифицированные водоемы имели существенные различия состава, структуры, вертикального распределения и количественных показателей зоопланктона в сентябре 2022 г. Минимальное разнооб-

разие зоопланктона отмечено в оз. Кисло-Сладкое (8 видов), а максимальное – в озере Еловое (18 видов), в ЛЗМ и бухте Биофильтров зоопланктон был схож по составу и числу видов (15 и 12 видов соответственно). Максимальная численность зоопланктона в столбе воды выявлена в оз. Кисло-Сладкое, минимальная – в ЛЗМ. Однако при отборе проб насосом, более дробном, количественные показатели существенно различались по глубине. В поверхностном слое максимум численности зоопланктона был отмечен в опресненном озере Еловое (29,8 тыс. экз./м³), и с глубиной она снижалась. Такая же тенденция наблюдалась в бухте Биофильтров, а у хемоклина (7 м) 17% численности зоопланктона составляли личинки полихет Spionidae. В оз. Кисло-Сладкое и ЛЗМ общая численность зоопланктона возрастала с глубиной.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной темы «Разнообразие, структура и функционирование морских и прибрежных экосистем» номер ЦИТИС 121032500077-8 и госзадания ИОРАН FMWE-2021-0007.

Литература

- [1] *Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Влияние хемоклина на вертикальную неоднородность зоопланктона в прибрежных стратифицированных водоемах, отделившихся от Белого моря // Тр. X Межд. науч.-практ. конф. MARESEDU-2021. Т. 2. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2022 (а). С. 82-86.
- [2] *Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Новое экологическое сообщество в хемоклине беломорских эвксинных бухт // Тр. XI Межд. науч.-практ. конф. MARESEDU-2021. Т. 3. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2022 (б). С. 81-84.
- [3] Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидро-биологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. А.А. Салазкина, М.Б. Ивановой, В.А. Огородникова. Л.: Гос. НИИ озерного и речного рыбного х-ва, 1984. 33 с.
- [4] *Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М.* Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005, т. 12, №5. С. 517-532.

S u m m a r y. Composition, structure, and abundance of zooplankton in four coastal stratified water bodies partly separated from the White Sea were studied in September 2022. The number of species, their vertical distribution, and the abundance of zooplankton depend on salinity and the degree of isolation of the water body from the sea. In the surface zone total number of zooplankton increases with the increased isolation.

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.И. ГЕРЦЕНА

HERZEN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY OF RUSSIA

LXXVI Герценовские чтения
География:
развитие науки и образования

Материалы Международной научно-практической конференции
19–21 апреля 2023 года

В 2-х томах

I

LXXVI Herzen readings
Geography:
Development of Science and Education

Materials of the International Scientific and Practical Conference
on April 19–21, 2023

In 2 volumes

Санкт-Петербург
Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
2023

УДК 911.5

Рецензенты:

Ал. А. Григорьев, доктор географических наук, профессор, РГПУ им. А. И. Герцена;
Д. В. Севастьянов, доктор географических наук, профессор, ЛГУ им. А. С. Пушкина

Редакционная коллегия:

Д. А. Субетто (отв. ред.), *А. Н. Паранина* (отв. ред.), *А. С. Баранов*, *Ю. Л. Войтеховский*,
Д. А. Гдалин, *Ю. Н. Гладкий*, *И. М. Греков*, *Е. Ю. Гуров*, *С. В. Ильинский*, *В. Ф. Куликов*,
С. И. Махов, *В. Г. Мосин*, *Е. М. Нестеров*, *Л. А. Пестрякова*, *В. Д. Сухоруков*

LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования :
Материалы Международной научно-практической конференции 19–21 апреля
2023 года : в 2 т. Т. I / отв. ред. Д. А. Субетто, А. Н. Паранина. — Санкт-
Петербург : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. — 384 с.

LXXVI Gertsenovskiy readings. Geography: development of science and education. Materials
of the International Scientific and Practical Conference on April 19–21, 2023 : in 2 vol. Part I / by
ed. D. A. Subetto, A. N. Paranina. — St. Petersburg : Publishing house of Herzen State Pedagogical
University of Russia, 2023. — 384 p.

ISBN 978-5-8064-3368-9

ISBN 978-5-8064-3369-6 (том 1)

Сборник материалов «География: развитие науки и образования» отражает результаты работы научно-практической конференции 76 Герценовские чтения 19–21 апреля 2023 года, посвященной 200-летию со дня рождения К. Д. Ушинского, 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского, 140-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана.

Материалы сгруппированы в два тома. Том I включает главы: 1. География — основа моделирования мира, 2. Современные вопросы физической географии, 3. Исследования полярных областей, 4. Лимнология и меромиктические озера, 5. Палеолимнологические и палеогеографические исследования. Том II включает главы: 1. Геоэкология и охрана окружающей среды, 2. Социально-экономические системы и географические аспекты глобализации, 3. Развитие географического образования, 4. Регионоведение, краеведение, туризм.

УДК 911.5

Материалы публикуются в авторской редакции

ISBN 978-5-8064-3368-9

ISBN 978-5-8064-3369-6 (1 том)

© РГПУ им. А. И. Герцена, 2023

© Р. В. Паранин, обложка, 2023

Научное издание

LXXVI Герценовские чтения
География: развитие науки и образования

Материалы Международной научно-практической конференции
19–21 апреля 2023 года

В 2-х томах
Том I

LXXVI Gertsenovsky readings
Geography: development of science and education
Materials of the International Scientific and Practical Conference
on April 19–21, 2023

In 2 volumes
Part I

Подготовка оригинал-макета *А. Н. Параниной*
Дизайн обложки *Р. В. Паранина*

Печатается с готового оригинал-макета, в авторской редакции

Подписано в печать 12.05.2023. Формат 60 × 84 ¹/₁₆
Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 24,0. Тираж 500 экз. Заказ № 000к

Типография РГПУ им. А. И. Герцена
191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48