

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.583
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-59-67

Исследование экологии зимнего планктона озера Байкал с использованием комплексных инструментальных методов

Елена Ю. Наумова¹, Таисия П. Ржепка², Михаил М. Макаров¹, Алексей С. Ольшуков^{3,4},
Константин М. Кучер¹, Мадина З. Магомедова⁵, Елена С. Троицкая^{1,2}

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский Государственный университет, Иркутск, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

⁴Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

⁵Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Елена Ю. Наумова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ихтиологии, ФГБУН Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук; 664009 Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278.
Тел. +79025783898
Email elena.baikalensis@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5829-9138>

Формат цитирования

Наумова Е.Ю., Ржепка Т.П., Макаров М.М., Ольшуков А.С., Кучер К.М., Магомедова М.З., Троицкая Е.С. Исследование экологии зимнего планктона озера Байкал с использованием комплексных инструментальных методов // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 3. С. 59-67.
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-59-67

Получена 9 февраля 2021 г.
Прошла рецензирование 31 марта 2021 г.
Принята 26 апреля 2021 г.

Резюме

Цель. Непрерывные наблюдения за изменением в экосистемах необходимо вести в связи с глобальными изменениями климата, которые влияют на состояние водных объектов. Дистанционные методы наблюдения имеют множество преимуществ в качестве перспективного метода мониторинга биоценозов крупных водоемов. Мы провели комплексное исследование с сопоставлением результатов, полученных с помощью новейших приборов и методов для расширения их дальнейшего применения при непрерывном мониторинге водных объектов.

Материал и методы. При полевых исследованиях использованы кроме классических методов изучения экологии зоопланктона – сети Джеди и STD зонда, также, гидроакустические датчики, погружную голографическую камеру, термодатчики высокого разрешения. Температуру воды, хлорофилл, фотосинтетически активную радиацию и другие параметры измеряли зондом AAQ-Rinko. Мы приводим данные одной вертикали до глубины 100 м.

Результаты. Основными компонентами мезозоопланктона в подледный период являются разные возрастные стадии эндемичного рачка *Epischura baikalensis* Sars, 1900 и несколько видов коловраток. В статье обсуждаются обнаруживаемые различными приборами неоднородности среды и распределения планктона.

Заключение. Полученные с помощью комплекса приборов экспериментальные результаты показывают, что распределение зоопланктона очень сильно зависит от физических параметров среды. Применение дистанционных методов получения данных – важный шаг к автоматизации базового мониторинга экосистемы озера Байкал и других водоемов. Полученные полевые данные позволяют в дальнейшем усовершенствовать алгоритм распознавания образов в программном обеспечении голографической установки именно для условий Байкала. Результаты вертикального распределения и миграций зоопланктона в связи с параметрами среды предполагается обрабатывать с использованием методов математического моделирования.

Ключевые слова

Мониторинг, зоопланктон, погружная голографическая камера, Байкал, температура, хлорофилл.

Investigation of the ecology of winter plankton of Lake Baikal using complex instrumental methods

Elena Yu. Naumova¹, Taisiya P. Rzhepkina², Mikhail M. Makarov¹, Alexey S. Olshukov^{3,4},
Konstantin M. Kucher¹, Madina Z. Magomedova⁵ and Elena S. Troitskaya^{1,2}

¹Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

⁴V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

⁵Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Elena Yu. Naumova, PhD, Department of Ichthyology, Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 3 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk, Russia 364033.

Tel. +79025783898

Email elena.baikalensis@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5829-9138>

How to cite this article

Naumova E.Yu., Rzhepkina T.P., Makarov M.M., Olshukov A.S., Kucher K.M., Magomedova M.Z., Troitskaya E.S. Investigation of the ecology of winter plankton of Lake Baikal using complex instrumental methods. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 3, pp. 59-67. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-59-67

Received 9 February 2021

Revised 31 March 2021

Accepted 26 April 2021

Abstract

Aim. The continuous monitoring of changes in ecosystems must be carried out in connection with global climate changes that affect the state of water bodies. Remote sensing methods have many advantages as a promising method for monitoring biocenoses in large water bodies. We carried out a comprehensive study comparing the results obtained using the latest instruments and methods to expand their further application to the continuous monitoring of water bodies.

Material and Methods. The field research was undertaken using hydroacoustic sensors, submersible holographic camera and high-resolution thermal sensors in addition to the classical methods of studying the zooplankton ecology – the Juday net and CTD probe. Water temperature, chlorophyll, photosynthetically active radiation and other parameters were measured with an AAQ-Rinko probe. We provided data for one vertical up to a depth of 100 m.

Results. The main components of mesozooplankton during the ice period are different age stages of the endemic crustacean *Epischura baikalensis* Sars 1900 and several rotifer species. The article discusses the heterogeneity of the environment and the distribution of plankton detected by various instruments.

Conclusion. The experimental results obtained with the help of a set of devices show that the distribution of zooplankton is very strongly dependent on the physical parameters of the environment. The use of remote sensing methods is an important step towards the automation of basic monitoring of the ecosystem of Lake Baikal and other water bodies. The obtained field data will make it possible to further improve the pattern recognition algorithm in the software of the holographic installation for the specific conditions of Lake Baikal. The results of the vertical distribution and migrations of zooplankton in connection with environmental parameters are assumed to be processed using mathematical modeling methods.

Key Words

Monitoring, zooplankton, submersible holographic camera, Baikal, temperature, chlorophyll.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что глобальные изменения климата влияют на состояние водных объектов, в т.ч. Байкала [1; 2]. В связи с этим, получение данных о состоянии экосистемы озера в объеме, достаточном для целей математического моделирования и прогнозирования поведения экосистемы озера в условиях глобального изменения климата и антропогенного освоения прибрежной территории является важной задачей. Дистанционные методы наблюдения имеют множество преимуществ для мониторинга биоценозов крупных водоемов. Анализ результатов ведется практически в реальном времени, что намного быстрее, чем обработка традиционных гидробиологических сборов. Результаты менее зависимы от случайных факторов, увеличение количества обрабатываемых данных делает значительно более достоверной их статистическую обработку. За рубежом непрерывно внедряются приборы на основе новейших технических разработок с использованием систем компьютерного обучения («искусственный интеллект») для обработки данных. Отечественная гидробиология отстает в этом направлении, несмотря на очевидную эффективность этих методов для целей экологического мониторинга [3-5]. Цифровая голография является многообещающим методом для исследования поведения планктона в естественных условиях [6-9]. В конце прошлого века велись разработки применения акустических и голографических методов для изучения зоопланктона озера Байкал [10; 11], но потом эти работы прервались. С целью оценки эффективности применения имеющихся и находящихся на стадии разработки приборов для установления непрерывного автоматизированного мониторинга зоопланктона озера Байкал были проведены комплексные наблюдения с использованием классических, голографического и гидроакустического методов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы проводились 14 марта 2019 года в южной котловине озера Байкал в 3,5 км от мыса Ивановский. Наблюдения проводились каждые 4 часа на протяжении суток. Пробы мезозоопланктона отбирали закрывающейся сетью Джели с размером ячеек 88 мкм (открытый диаметр 37,5 см) по горизонтам 0-10, 10-25, 25-50, 50-100 м, фиксировали в 4% формалине, концентрировали седиментацией и затем подсчитывали под световым микроскопом [12]. Гидроакустическая съемка проводилась модернизированным эхолотом FCV-1100. Конфигурация эхолота была следующей: частота сигнала – 28 кГц, частота следования импульсов – 5 Гц, длительность импульса – 0,3 мс. Ширина луча однолучевого гидроакустического преобразователя 3 дБ составляла 12°. Температуру воды, хлорофилл (хл “а”), фотосинтетически активную радиацию (ФАР) и другие параметры измеряли зондом AAQ-Rinko [13]. Кроме того, для измерения температуры воды использовались логгеры (RBR-Companu, Канада) TR-1000 (разрешение 0,002°C, точность 0,05°C) и TR-1060 (разрешение 0,0001°C, точность 0,002°C). Полигон состоял из четырех точек, в которых измерения проводились на глубинах 45, 50 и 55 м. Дискретность измерений 5 минут. Еще один логгер RBRduet (разрешение 0.00005°C, точность 0.002°C, дискретность 5 отсчетов в секунду) был прикреплен к сети Джели. Одновременно

использовалась погружная голографическая камера [14]. В статье приводятся результаты анализа данных одной вертикали, выполненной в 13.00 ч 14 марта 2019. Во время проведения измерений было облачно (10 бл), дымка, без ветра. Ночью выпал снег (высота свежеснежавшего снега 2 см) и его высота на льду (толщина 83 см) составила максимально 7 см (пятнистое покрытие льда снегом).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Профиль температуры воды во время проведения работ, в целом, был обычен для периода весеннего подледного прогрева (рис. 1.1). Подо льдом температура воды составляла 0,2°C. В слое 4-5 м выделяется скачок температуры до 0,5°C, связанный с суточными колебаниями температуры. Глубже (до глубины 25 м) температура практически не менялась и составляла около 0,5°C в слое эпилимниона. С 25 м начинается сезонный слой скачка температуры (термоклин), в котором температура воды заметно повышалась и составила на 3,2°C на 100 м.

Количество хл“а” (рис. 1.2) плавно возрастало от 0,52 г/л в подледном слое до максимального 1,6 г/л на глубине 10 м. Потом его количество снижалось и следующий пик наблюдался на глубине 23-25 м (до 1,0 г/л). Еще один пик наблюдался на глубине 31-32 м (0,81 г/л). Глубже 50 м количество хлорофилла было 0,22-0,32 г/л.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) во время наших наблюдений (рис. 1.3) практически не проникала глубже 30 метров. По нашим наблюдениям, при наблюдаемой толщине льда и покрытой снегом поверхности льда освещение в воде падает до критических для фотосинтеза значений уже на глубине 10 метров.

Основными компонентами мезозоопланктона в подледный период являются разные возрастные стадии эндемичного рачка *Epischura baikalensis* Sars 1900 и несколько видов коловраток [15]. В наблюдаемый период в поверхностном слое 0-10 м численность всего зоопланктона была 459 экз./м³ (рис. 2). Глубже на горизонте 10-25 метров количество зоопланктона снижается до 218 экз./м³, на горизонте 25-50 метров – 98 экз./м³ и глубже 50 м возрастает до 169 экз./м³. Наибольший вклад в численность зоопланктона вносили науплиусы *E. baikalensis* (0-10 м – 413 экз./м³, а в слое глубже 50 м поднимается до 164 экз./м³). По результатам сетных сборов у поверхности находилось около 40 процентов всех коловраток от общего количества в слое 0-100 м и почти четверть всех науплиусов.

По изображениям, полученным с помощью эхолота (рис. 3) хорошо видно, как и на какой глубине работала планктонная сеть и погружаемая аппаратура, а также, что регистрируемые скопления зоопланктона находились в поверхностном 5-метровом слое. Благодаря акустическим данным мы знаем, что когда сетью Джели облавливался 10-метровый слой, основная масса зоопланктона была сосредоточена выше. Так что концентрация зоопланктона в расчете на горизонт 0-5 м была как минимум в 2 раза выше, то есть приблизительно 1000 экз./м³. Полученные данные позволяют определить, что регистрируемый слой – это сигнал от мезозоопланктона с такой концентрацией. При концентрации ниже сигнал уже не наблюдается.

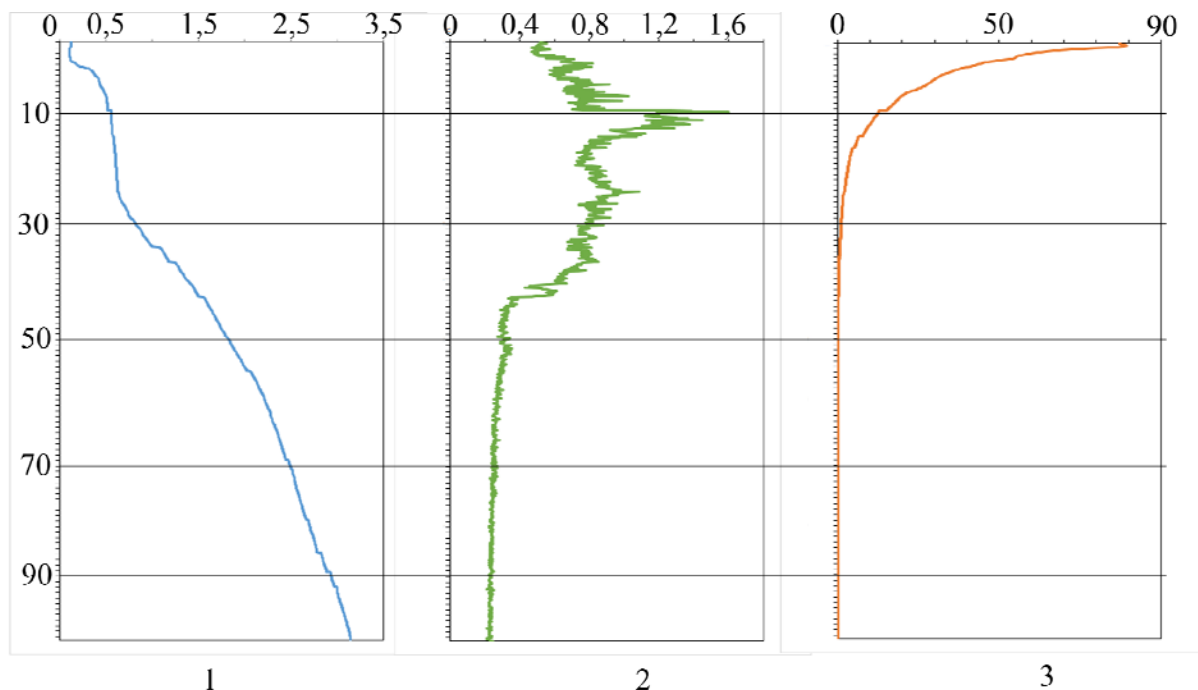


Рисунок 1. Изменение температуры, °C (1), концентрации хлорофилла "а", г/л (2) и фотосинтетически активной радиации (ФАР), мкмоль/м²с (3), по глубине 14 марта 2019 в 13.00, м. Ивановский. Здесь и далее по вертикали – глубина (м)

Figure 1. Change in temperature, °C (1), concentration of chlorophyll "a", g/l (2) and photosynthetically active radiation (PAR), μmol/m² s (3), at depths on 14 March 2019 at 13.00 hrs at Cape Ivanovsky. In this figure and further below the vertical scale – depth (m)

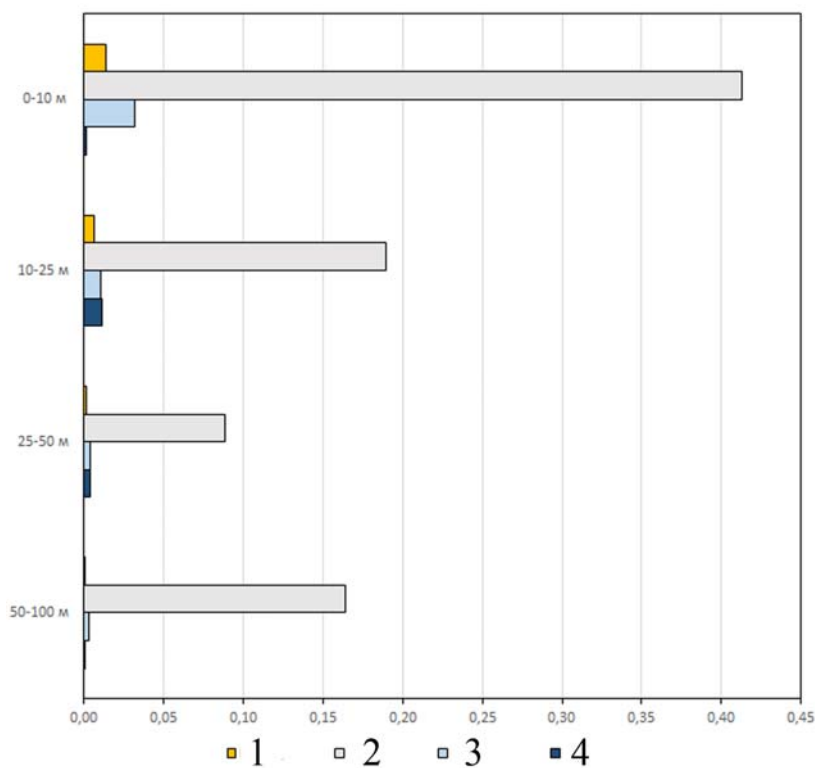


Рисунок 2. Распределение концентраций групп зоопланктона тыс. экз./м³ по глубине 14 марта 2019 в 13.00, м. Ивановский. 1 – общая концентрация коловраток, 2 – науплиальные стадии *Epischura baikalensis*, 3 – копепоиды *E. baikalensis*, 4 – взрослые рачки *E. baikalensis*

Figure 2. Distribution of concentrations of zooplankton groups, thousand ind./m³, along the depth on 14 March 2019 at 13.00 hrs at Cape Ivanovsky. 1 – rotifers, 2 – naupliar stages *Epischura baikalensis*, 3 – copepodites of *E. baikalensis*, 4 – adult *E. baikalensis*

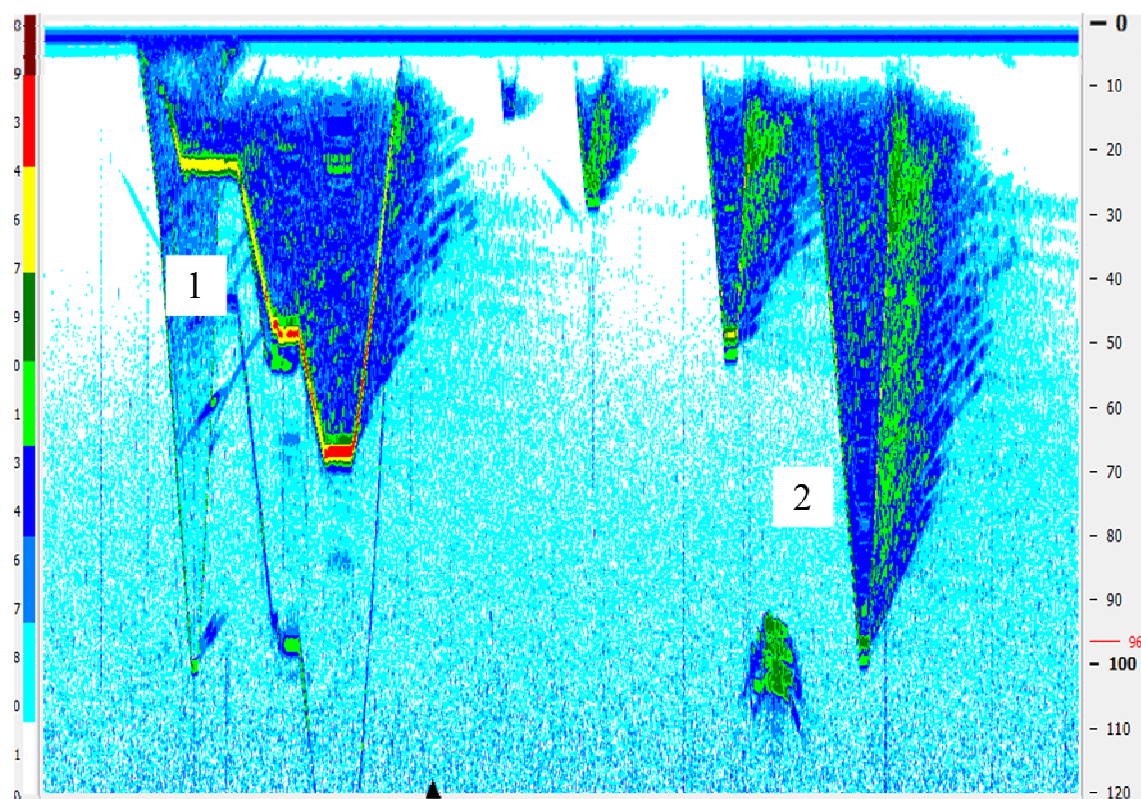


Рисунок 3. Эхограмма, полученная 14 марта 2019 в 13.00, м. Ивановский. 1 – сигнал от погружаемой голографической установки, 2 – четыре горизонта погружения сети Джеди
Figure 3. Echogram received on 14 March 2019 at 13.00 hrs at Cape Ivanovsky. 1 – signal from a submersible holographic installation, 2 – four immersion horizons of Jedi net

Данные, полученные голографической камерой, обсчитывались полуавтоматически по сфокусированным изображениям (рис. 4). В поверхностном 5-метровом слое отмечался пик до 15 тыс. частиц/м³ на глубине 5 м, совпадая с пиком максимума акустической плотности и максимума мезозoopланктона в слое 0-10 м. Повышение количества частиц на глубине 10 м

вероятно отражает наличие на этой глубине колониальных диатомовых водорослей. Максимальные значения количества частиц (20 тыс. частиц/м³) получены на глубине 23 м. Количество частиц плавно уменьшалось к глубине 50 м до 7 тыс. частиц/м³ и опять повышалось до 15 тыс. частиц/м³ к 70 метрам.

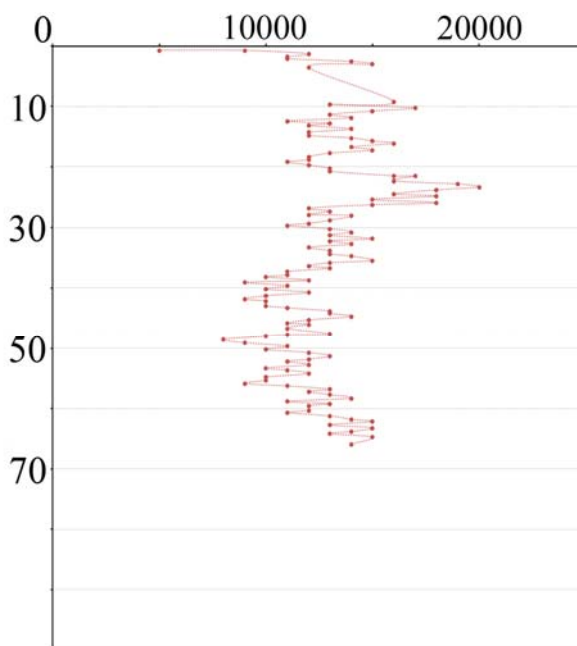


Рисунок 4. Изменение количества частиц (в м³) с глубиной, полученное с помощью погружной голографической камеры 14 марта 2019 в 13.00, м. Ивановский
Figure 4. Change in the number of particles (in m³) with depth obtained using a submersible holographic camera on 14 March 2019 at 13.00 hrs at Cape Ivanovsky

Чтобы проверить гипотезу влияния на вертикальное распределение мезозoopланктона плотности воды, на профиле её вертикального распределения были

выделены точки перелома (рис. 5). Всего выделено шесть таких точек на глубинах 2, 5, 25, 30, 39 и 58 м.

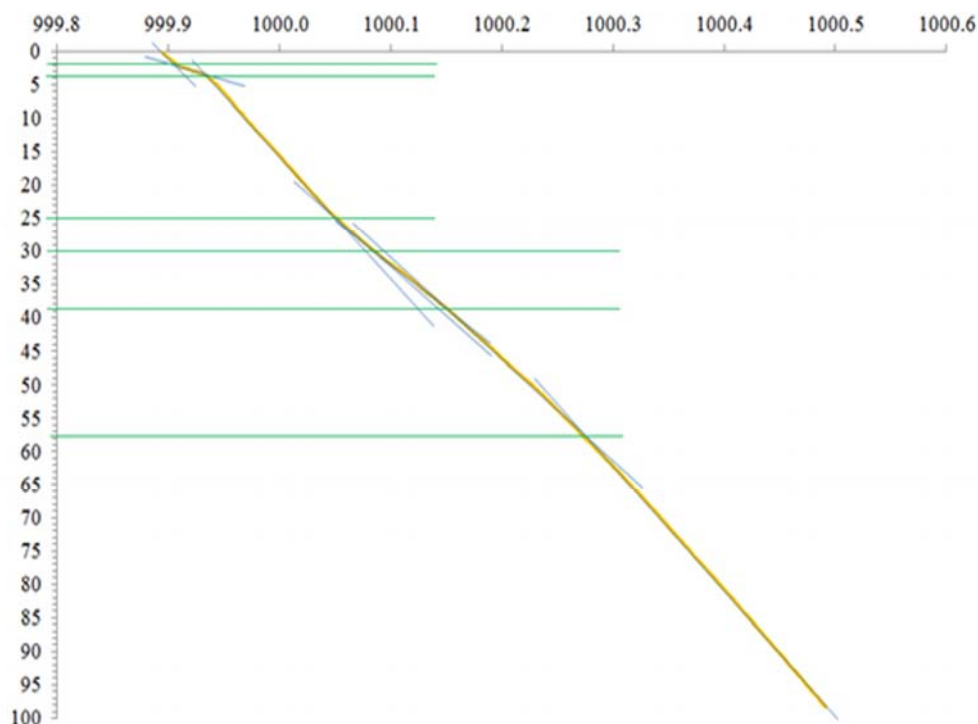


Рисунок 5. Вертикальное распределение плотности воды (оранжевая кривая, кг/м^3), точки её перелома (отмечены пересечением голубых линий). Зелёные линии проведены для определения глубины залегания точки перелома
Figure 5. Vertical distribution of water density (orange curve, kg/m^3), its breakpoints (marked by the intersection of blue lines). Green lines are drawn to determine the depth of the inflection point

По результатам комплексного анализа видно (табл. 1), что максимум фотосинтезирующих организмов наблюдался над термоклином и отражен в данных голографической камеры на глубине 23 м. При этом

максимум мезозoopланктона также был зарегистрирован и в акустических, и в голографических данных на глубине около трех метров.

Таблица 1. Выделенные разными методами горизонты изменений параметров среды или характеристик планктона
Table 1. Horizons of changes in environmental parameters or plankton characteristics identified by different methods

Методы / Methods	Параметры / Parameters	Горизонты, м / Horizons, m
Гидрофизический Hydrophysical	Плотность воды / Density of water	2, 5, 25, 30, 39, 58
	Температура воды / Water temperature	5, 25
Гидроакустический Hydroacoustic	Акустическая плотность / Acoustic density	5
Биологический Biological	Хлорофилл «а» / Chlorophyll "a"	5, 10, 25
	ФАР / PAR	0-10, 0-30
	Концентрация зоопланктона Zooplankton concentration	1-10
Голографический Holographic	Число частиц / Particle Count	5, 23, 45, 58, 62-66

Чётко выделяется по всем параметрам горизонт 5 м – нижняя граница суточного перемешивания за счёт свободной температурной конвекции; и 23-25(30) м – горизонт/слой, с которого начинается сезонный

термоклин. Если сопоставлять с вертикальным распределением зоопланктона, то коловратки предпочитают жить в эпилимнионе, где достаточно света, есть суточное и сезонное перемешивание воды в

марте. В слое термоклина их меньше. Похожее распределение у копепоидов *Epischura baikalensis*. Представителей науплиальных стадий *E. baikalensis* больше в верхней части эпилимниона – предположительно в узком слое 3-5 м, где происходит суточное перемешивание. Высокая концентрация науплиусов и в нижней части термоклина (50-100 м) совпадает с повышением численности взрослых особей *E. baikalensis*. Возможно, именно эти группы зоопланктона зарегистрированы голографическим методом (пики глубже 50 м, рис. 4). Взрослые рачки *E. baikalensis*, судя по результатам, обитают в слое перехода от эпилимниона к термоклину (23-25(30) м). Это может быть связано с оседанием диатомовых водорослей в слое наибольших вертикальных градиентов температуры и плотности воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные с помощью комплекса приборов экспериментальные результаты подтверждают то, что распределение мезозоопланктона очень сильно зависит от гидрофизических параметров среды (температура и плотность воды, освещённость, динамические процессы). Результаты акустического и голографического методов также совпадают с результатами анализа классическими методами. Однако, для подтверждения гипотезы о соотношении вертикального распределения различных стадий и видов зоопланктона с пиками вертикального распределения частиц, определяемыми с помощью голографической камеры, требуется ручная верификация данных.

Применение дистанционных методов получения данных – важный шаг к автоматизации базового мониторинга экосистемы озера Байкал и других водоемов. Полученные полевые данные позволят в дальнейшем усовершенствовать алгоритм распознавания образов в программном обеспечении голографической установки именно для условий Байкала. Результаты вертикального распределения и миграций зоопланктона в связи с параметрами среды предполагается обрабатывать с использованием методов математического моделирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Проекта РФФИ 19-07-00322 А. Работа выполнена при частичной поддержке проектов МИНОБРНАУКИ России 0279-2021-0004, 0279-2021-0005, 0279-2019-0003. Благодарим коллег из коллаборации «Baikal-GVD» Н.М. Буднева, И.А. Белолептикова и др. за организацию транспорта, проживания, техническое обеспечение и всемерную помощь во время проведения экспедиционных работ.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by RFBR project 19-07-00322 A. This work was carried out with partial support of Ministry of Education and Science of Russia projects 0279-2021-0004, 0279-2021-0005, 0279-2019-0003. We would like to thank our colleagues from the Baikal-GVD collaboration, N.M. Budnev, I.A. Belolaptikov and others for the organization of transport, accommodation, technical support and all-round assistance during expeditionary work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Izmet'eva L.R., Moore M.V., Hampton S.E., Ferverda C.J., Gray D.K., Woo K.H., Pislegina H.V., Krashchuk L.S., Shimaraeva S.V., Sylov E.A. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal // Journal of Great Lakes Research. 2016. V. 42. Iss. 1. P. 6-17. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.11.006
2. Naumova E.Yu., Zaidykov I.Yu. Spring zooplankton of pelagial of the Baikal Lake // Hydrobiological Journal. 2018. V. 54. Iss. 1. P. 33-39. DOI: 10.1615/Hydrobiol.v54.i1.30
3. Jude D.J., Rudstam L.G., Holda T.J., Watkins J.M., Euclide P.T., Balcer M.D. Trends in *Mysis diluviana* abundance in the Great Lakes, 2006-2016 // Journal of Great Lakes Research. 2018. V. 44. Iss. 4. P. 590-599. DOI: 10.1016/j.jglr.2018.04.006
4. Naumova E.Yu., Zaidykov I.Yu., Makarov M.M. Recent quantitative values of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (amphipoda) from Lake Baikal // Journal of Great Lakes Research. 2020. V. 46. Iss. 1. P. 48-52. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.002
5. Dyomin V.V., Davydova A.Y., Morgalev Y.N., Olshukov A.S., Polovcev I.G., Morgaleva T.G., Morgalev S.Y. Planktonic response to light as a pollution indicator // Journal of Great Lakes Research. 2020. V. 46. Iss. 1. P. 41-47. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.012
6. Rotermond L.M., Samson J., Kreuzer J. A submersible holographic microscope for 4-D *in-situ* studies of micro-organisms in the ocean with intensity and quantitative phase imaging // Journal of Marine Science: Research and Development. 2016. V. 6. Iss. 1. Article: 181. DOI: 10.4172/2155-9910.1000181
7. Davies E.J., Nepstad R. *In situ* characterisation of complex suspended particulates surrounding an active submarine tailings placement site in a Norwegian fjord // Regional Studies in Marine Science. 2017. V. 16. P. 198-207. DOI: 10.1016/j.rsma.2017.09.008
8. Guo B., Yu J., Liu H., Yuan G., Xu W., Hou R., et al. Miniaturized digital inline holographic camera for in-situ plankton detection // Advanced Sensor Systems and Applications VIII. eds T. Liu, and S. Jiang, Beijing: SPIE, 2018. 32 p. DOI: 10.1117/12.2500788
9. Lombard F., Boss E., Waite A.M., Vogt M., Uitz J., Stemmann L., Sosik H.M., Schulz J., Romagnan J.-B., Picheral M., Pearlman J., Ohman M.D., Niehoff B., Möller K.O., Miloslavich P., Lara-Lpez A., Kudela R., Lopes R.M., Kiko R., Karp-Boss L., Jaffe J.S., Iversen M.H., Irisson J.-O., Fennel K., Hauss H., Guidi L., Gorsky G., Giering S.L.C., Gaube P., Gallager S., Dubelaar G., Cowen R.K., Carlotti F., Briseño-Avena C., Berline L., Benoit-Bird K., Bax N., Batten S., Ayata S.D., Artigas L.F., Appeltans W. Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems // Frontiers in Marine Science. 2019. V. 6. 196 p. DOI: 10.3389/fmars.2019.00196
10. Мельник Н.Г. Исследования пространственно-временной организации пелагиали озера Байкал // Материалы конференции «Чтения памяти проф. М.М. Кожова. Проблемы экологии», Иркутск, 1-3 ноября, 2000. С. 64-66.
11. Rudstam L.G., Melnik N.G., Timoshkin O.A., Hansson S., Pushkin S.V., Nemov V. Daily dynamics of an aggregation of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (Amphipoda, Gammaridae) in Barguzin Bay, Lake Baikal, Russia // Journal of Great Lakes Research. 1992. V. 18. P. 286-297.
12. Тимошкин О.А., Мазепова Г.Ф., Мельник Н.Г. и др. Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала (с

краткими очерками по их экологии). Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1995. 693 с.

13. Makarov M.M., Kucher K.M., Naumova E.Yu. Vertical distribution of zooplankton after rapid change in temperature and chlorophyll concentration // *Limnology and Freshwater Biology*. 2019. N 1. P. 177-180. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-1-177

14. Dyomin V.V., Davydova A.Yu., Morgalev S.Yu., Kirillov N.S., Olshukov A.S., Polovtsev I.G., Davydov S.A. Monitoring of Plankton Spatial and Temporal Characteristics with the Use of a Submersible Digital Holographic Camera // *Frontiers in Marine Science*. 2020. V. 7. Article: 653. DOI: 10.3389/fmars.2020.00653

15. Tereza E.P., Naumova E.Yu., Belykh O.I., Logacheva N.F., Pomazkova G.I., Dzyuba Y.V., Melnik N.G. Vertical distribution and feeding activity of *Epischura baicalensis* Sars (Copepoda) nauplii in response to two predators in Lake Baikal in winter // *Fundamental and Applied Limnology*. 2007. V. 169(3). P. 211-216. DOI: 10.1127/1863-9135/2007/0169-0211

REFERENCES

1. Izmet's'eva L.R., Moore M.V., Hampton S.E., Ferverda C.J., Gray D.K., Woo K.H., Pislegina H.V., Krashchuk L.S., Shimaraeva S.V., Sylov E.A. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal. *Journal of Great Lakes Research*, 2016, vol. 42, iss. 1, pp. 6-17. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.11.006

2. Naumova E.Yu., Zaidykov I.Yu. Spring zooplankton of pelagial of the Baikal Lake. *Hydrobiological Journal*, 2018, vol. 54, iss. 1, pp. 33-39. DOI: 10.1615/Hydrobiol.v54.i1.30

3. Jude D.J., Rudstam L.G., Holda T.J., Watkins J.M., Euclide P.T., Balcer M.D. Trends in *Mysis diluviana* abundance in the Great Lakes, 2006-2016. *Journal of Great Lakes Research*, 2018, vol. 44, iss. 4, pp. 590-599. DOI: 10.1016/j.jglr.2018.04.006

4. Naumova E.Yu., Zaidykov I.Yu., Makarov M.M. Recent quantitative values of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (amphipoda) from Lake Baikal. *Journal of Great Lakes Research*, 2020, vol. 46, iss. 1, pp. 48-52. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.002

5. Dyomin V.V., Davydova A.Y., Morgalev Y.N., Olshukov A.S., Polovtsev I.G., Morgaleva T.G., Morgalev S.Y. Planktonic response to light as a pollution indicator. *Journal of Great Lakes Research*, 2020, vol. 46, iss. 1, pp. 41-47. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.012

6. Rotermund L.M., Samson J., Kreuzer J. A submersible holographic microscope for 4-D in-situ studies of micro-organisms in the ocean with intensity and quantitative phase imaging. *Journal of Marine Science: Research and Development*, 2016, vol. 6, iss. 1, article: 181. DOI: 10.4172/2155-9910.1000181

7. Davies E.J., Nepstad R. *In situ* characterisation of complex suspended particulates surrounding an active submarine tailings placement site in a Norwegian fjord.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена Ю. Наумова, Елена С. Троицкая, Михаил М. Макаров, Алексей С. Ольшук и Константин М. Кучер провели полевой сбор материала и первичную обработку данных. Таисия П. Ржепка провела камеральную обработку проб зоопланктона. Елена Ю. Наумова, Елена С. Троицкая, Михаил М. Макаров и Мадина З. Магомедова проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут

Regional Studies in Marine Science, 2017, vol.16, pp.198-207. DOI: 10.1016/j.rsma.2017.09.008

8. Guo B., Yu J., Liu H., Yuan G., Xu W., Hou R., et al. Miniaturized digital inline holographic camera for in-situ plankton detection. *Advanced Sensor Systems and Applications VIII*, eds T. Liu, and S. Jiang, Beijing: SPIE, 2018, p. 32. DOI: 10.1117/12.2500788

9. Lombard F., Boss E., Waite A.M., Vogt M., Uitz J., Stemmann L., Sosik H.M., Schulz J., Romagnan J.-B., Picheral M., Pearlman J., Ohman M.D., Niehoff B., Möller K.O., Miloslavich P., Lara-Lpez A., Kudela R., Lopes R.M., Kiko R., Karp-Boss L., Jaffe J.S., Iversen M.H., Irisson J.-O., Fennel K., Hauss H., Guidi L., Gorsky G., Giering S.L.C., Gaube P., Gallager S., Dubelaar G., Cowen R.K., Carloti F., Briseño-Avena C., Berline L., Benoit-Bird K., Bax N., Batten S., Ayata S.D., Artigas L.F., Appeltans W. Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 2019, Vol. 6, p. 196. DOI: 10.3389/fmars.2019.00196

10. Melnik N.G. Issledovaniya prostranstvenno-vremennoy organizatsii pelagialy ozera Baykal [Studies of the spatio-temporal organization of the pelagic zone of Lake Baikal]. *Materialy konferentsii «Chteniya pamyati prof. M.M. Kozhova. Problemy ekologii», Irkutsk, 1-3 noyabrya, 2000* [Proceedings of the conference "Readings in memory of prof. M.M. Kozhova. Ecological problems", Irkutsk, 1-3 November 2000]. Irkutsk, 2000, pp. 64-66. (In Russian)

11. Rudstam L.G., Melnik N.G., Timoshkin O.A., Hansson S., Pushkin S.V., Nemov V. Daily dynamics of an aggregation of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (Amphipoda, Gammaridae) in Barguzin Bay, Lake Baikal, Russia. *Journal of Great Lakes Research*. 1992, vol. 18, pp. 286-297.

12. Timoshkin O.A., Mazepova G.F., Melnik N.G. et al. *Atlas i opredelitel' pelagobiontov Baykala (s kratkimi ocherkami po ikh ekologii)* [Atlas and Keys to Baikal pelagobionts (with brief essays on their ecology)]. Novosibirsk, Nauka, Siberian RAS Publ., 1995, 693 p. (In Russian)

13. Makarov M.M., Kucher K.M., Naumova E.Yu. Vertical distribution of zooplankton after rapid change in temperature and chlorophyll concentration. *Limnology and Freshwater Biology*, 2019, no. 1, pp. 177-180. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-1-177

14. Dyomin V.V., Davydova A.Yu., Morgalev S. Yu., Kirillov N.S., Olshukov A.S., Polovtsev I. G., Davydov S.A. Monitoring of Plankton Spatial and Temporal Characteristics with the Use of a Submersible Digital Holographic Camera. *Frontiers in Marine Science*, 2020, vol. 7, article 653. DOI: 10.3389/fmars.2020.00653

15. Tereza E.P., Naumova E.Yu., Belykh O.I., Logacheva N.F., Pomazkova G.I., Dzyuba Y.V., Melnik N.G. Vertical distribution and feeding activity of *Epischura baicalensis* Sars (Copepoda) nauplii in response to two predators in Lake Baikal in winter. *Fundamental and Applied Limnology*, 2007, vol. 169(3), pp. 211-216. DOI: 10.1127/1863-9135/2007/0169-0211

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena Yu. Naumova, Elena S. Troitskaya, Mikhail M. Makarov, Alexey S. Olshukov and Konstantin M. Kucher conducted field data collection and primary data processing. Taisiya P. Rzhepka carried out in-house processing of zooplankton samples. Elena Yu. Naumova, Elena S. Troitskaya, Mikhail M. Makarov and Madina Z. Magomedova analysed the data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism and self-

ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата или других неэтических проблем.

plagiarism or other ethical transgressions

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена Ю. Наумова / Elena Yu. Naumova <https://orcid.org/0000-0001-5829-9138>

Таисия П. Ржепка / Taisiya P. Rzhepka <https://orcid.org/0000-0002-2151-5789>

Михаил М. Макаров / Mikhail M. Makarov <https://orcid.org/0000-0002-1758-4458>

Алексей С. Ольшук / Alexey S. Olshukov <https://orcid.org/0000-0003-1886-7174>

Константин М. Кучер / Konstantin M. Kucher <https://orcid.org/0000-0002-5978-0107>

Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <https://orcid.org/0000-0001-8425-1664>

Елена С. Троицкая / Elena S. Troitskaya <https://orcid.org/0000-0002-6575-0465>