

Обзорная статья
УДК 547.979.7: 57.086.13
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03>



Портативная система фильтрации для определения хлорофилла в экспедиционных условиях и криоконсервация проб

Виктор Ростиславович Алексеев¹, Ольга Борисовна Максимова²,
Ольга Александровна Чабан¹

¹ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктор Ростиславович Алексеев,
alekseev@zin.ru

Аннотация

В работе оценивается эффективность двух методов сбора проб хлорофилла в экспедиционных условиях. Первый метод основан на портативной фильтрационной системе с нагнетательным давлением через шприц, второй – на криоконсервации проб. Были проведены: сравнение шприцевой с традиционной вакуумной фильтрацией; тестирование разных типов фильтров (стекловолоконные и ацетатцеллюлозные); проверка стабильности хлорофилла при замораживании. Результаты показали: стекловолоконные фильтры с нагнетательной системой дают сопоставимые с вакуумом результаты (5.4 ± 1.52 против 6.01 ± 1.15 мкг/л); ацетатцеллюлозные фильтры не рекомендуются для использования с нагнетательной системой через шприц (занижение – на 55%); замораживание сохраняет хлорофилл в течение минимум 30 дней (статистически не отличаясь от свежесобранных проб). Предложенные модификации методов сбора рекомендуются для широкого использования в полевых условиях.

Ключевые слова

Портативная фильтрация, криоконсервация проб, фитопигменты, полевые исследования, сбор проб, Сахалин

Благодарности

Авторы благодарят участников экспедиции за помощь в сборе материала.

Финансирование

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800888-5.

Для цитирования

Алексеев В.Р., Максимова О.Б., Чабан О.А. Портативная система фильтрации для определения хлорофилла в экспедиционных условиях и криоконсервация проб. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):103. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03>



Portable filtration system for chlorophyll determination in expeditionary conditions and cryopreservation of samples

Viktor R. Alekseev¹, Olga B. Maksimova², Olga A. Chaban¹

¹ Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Viktor R. Alekseev, alekseev@zin.ru

Abstract

The study evaluates the effectiveness of two methods for chlorophyll sampling in expeditionary conditions. The first method is based on a portable, syringe-based pressure filtration system, while the second involves cryopreservation of samples. The following were conducted: comparison of syringe-based filtration with conventional vacuum filtration; testing of different filter types (glass-fiber and cellulose acetate); verification of chlorophyll stability in freezing. The results showed that the pressure-driven system with glass-fiber filters provides results comparable to vacuum filtration (5.4 ± 1.52 vs. 6.01 ± 1.15 $\mu\text{g/L}$); cellulose acetate filters are not recommended for the syringe-based system (underestimation by 55%); cryopreservation preserves chlorophyll for at least 30 days (statistically indistinguishable from freshly collected samples). The proposed modifications of the sampling methods are recommended for widespread use in field conditions.

Keywords

Portable filtration, cryopreservation of samples, photopigments, field research, sampling, Sakhalin

Acknowledgments

The authors are grateful to the expedition participants for their assistance with sample collection.

Funding

The work was carried out within the framework of state assignment No. 125012800888-5.

For citation

Alekseev V.R., Maksimova O.B., Chaban O.A. Portable filtration system for chlorophyll determination in expeditionary conditions and cryopreservation of samples. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):103. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03

Введение

Introduction

Определение концентрации хлорофилла-а является ключевым методом оценки продуктивности водных экосистем и широко применяется в гидробиологических исследованиях, включая биоиндикацию, изучение первичной продукции, оценку рыбопродуктивности и мониторинг биоразнообразия [1]. В отличие от оперативно измеряемых параметров (температура, pH, электропроводность, содержание кислорода), стандартный лабораторный анализ хлорофилла требует сложной многоэтапной процедуры: фильтрация воды с осаждением фитопланктона на мембранных или стекловолоконных фильтрах; обезвоживание и замораживание образцов; экстракция пигментов органическими растворителями (ацетон, этанол); спектрофотометрическое или флуориметрическое определение концентраций [2, 3].

Стандартный протокол предполагает использование громоздкого оборудования (вакуумные насосы, стеклянные колбы Бунзена, системы шлангов), требующего стационарного размещения. Процедура фильтрации существенно замедляется по мере засорения пор фильтрующей мембраны минеральной взвесью и клетками фитопланктона, достигая 40-60 мин на пробу при работе с большими объемами воды (500-1000 мл). Эти технические сложности зачастую вынуждают исследователей отказываться от определения хлорофилла в ходе экспедиционных работ и тем самым лишаться важнейшего показателя биопроductивности.

Для решения указанных проблем возможно применение портативного фильтрационного устройства, где вакуумная система заменена нагнетательным механизмом с регулируемым давлением до 2.5 атм. Портативный комплект (шприц емкостью 160 мл и стандартный фильтродержатель)

позволяет сократить время обработки пробы до 5 мин при сохранении целостности фильтра и возможности визуального контроля. Этот прибор был опробован в условиях многодневных пешеходных маршрутов во время экспедиции на острове Сахалин. Вторым методом, упрощающим сбор проб хлорофилла, является прямое замораживание проб воды с последующей лабораторной обработкой. Несмотря на то, что методы нагнетательной фильтрации и криоконсервации проб кратко упоминались ранее [4, 5], их подробное описание и систематическая проверка на разных типах фильтров и в различных условиях не проводились.

Описание прибора

Device description

Основу портативного фильтрационного прибора составляет пластиковый шприц объемом 160 мл из высокопрочного химически нейтрального полистирола, обеспечивающий плавное нагнетание воды под давлением до 2.5 атм (рис. 1). Шприц герметично соединяется с разборным фильтродержателем (приобретен через платформу AliExpress под названием «plastic syringe filter holder»), позволяющим использовать фильтры диаметром 47-50 мм. Прозрачный корпус фильтродержателя обеспечивает визуальный контроль степени заполнения фильтра, а быстросъемный механизм значительно упрощает процесс замены мембран в полевых условиях. Компактные размеры и малый вес прибора делают его эффективным для экспедиционных исследований, где критически важны мобильность и простота эксплуатации.

Использование прибора

Operating the device

Работа с портативным фильтрационным прибором осуществляется по следующей отработанной методике. После отбора пробы воды шприцем с присоединенным фильтродержателем производится плавное нагнетание жидкости, обеспечивающее равномерное прохождение воды через фильтрующую мембрану. Оптимальным является фильтрование такого количества порций воды (каждая по 160 мл), которое может быть обработано примерно за 5 мин. Значительное увеличение этого времени или заметное возрастание сопротивления при нажатии на поршень свидетельствуют о необходимости завершения фильтрации. Визуальный контроль через прозрачный корпус фильтродержателя позволяет оценить степень насыщения фильтра по интенсивности его окрашивания. При необходимости процесс можно прервать, зафиксировав общий профильтрованный объем с учетом остатка воды в шприце, что особенно важно при работе с высококонцентрированными пробами. По окончании фильтрации мембрану аккуратно извлекают, складывают пигментированной стороной внутрь для минимизации потерь анализируемого материала, после чего помещают между листами фильтровальной бумаги для удаления избыточной влаги. Подготовленный таким образом фильтр помещают в бумажный конверт и маркируют, затем дегидратируют в эксикаторе в течение 24 ч. Для длительного хранения до лабораторного анализа высушенные образцы размещают в герметичных полиэтиленовых пакетах в морозильной камере, что гарантирует сохранность пигментов в течение нескольких месяцев.

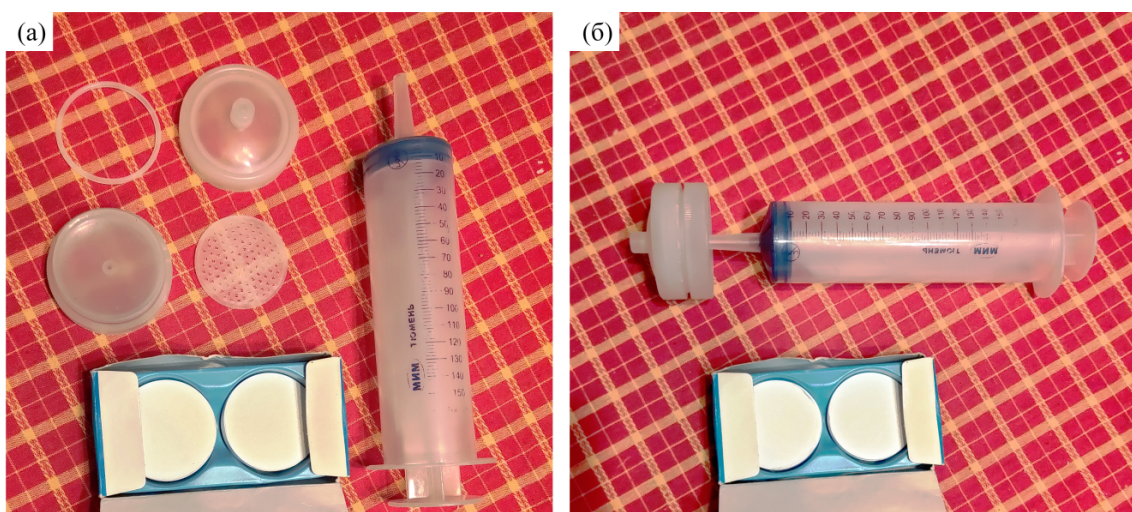


Рисунок 1. Конструкция портативного прибора для фильтрации воды и сбора проб хлорофилла в полевых условиях. а – в разобранном виде, б – в собранном виде.

Figure 1. Design of a portable water filtration device for field chlorophyll sampling. (a) disassembled view; (b) assembled view.

В экспедиции на острове Сахалин в июле-августе 2024 г. этот портативный прибор был успешно опробован. Отбор проб производился на 26 станциях, охватывающих различные типы континентальных водоемов: речные системы, озерные и болотные массивы. Для каждой пробы объем фильтруемой воды варьировал от 160 до 800 мл в зависимости от визуально оцениваемой концентрации фитопланктона, при этом использовались стандартные стекловолоконные фильтры Whatman GF/F с пористостью 1.2 мкм. После завершения полевого этапа все отобранные пробы были транспортированы в лабораторию для последующего анализа. Определение концентрации хлорофилла-а выполнялось согласно международному стандарту [3] методом спектрофотометрии ацетоновых экстрактов на высокоточном двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-1800, обеспечивающем чувствительность измерений до 0.01 мкг/л. Полученные данные продемонстрировали значительный разброс значений содержания пигмента в исследованных водоемах: от 1 до 75 мкг/л. Результаты измерений представлены на рисунке 2. Наиболее показательными стали пробы из высокоотрофного озера-отстойника в Южном Сахалине, где при минимальном профильтрованном объеме (160 мл) и высокой мутности воды (95 NTU) была зафиксирована максимальная концентрация пигмента (75 мкг/л).

Для оценки эффективности данного метода нагнетательной фильтрации был проведен сравнительный анализ с традиционной вакуумной методикой. В мае 2025 г. в пруду Фрунзенского района Санкт-Петербурга осуществлен отбор проб поверхностной воды общим объемом 6 л, которые методом случайной выборки были разделены на подпробы объемом 400 мл.

Сравнительное исследование включало в себя три варианта обработки проб:

1. Нагнетательная фильтрация через стекловолоконные фильтры Whatman GF/F, 1.2 мкм.
2. Нагнетательная фильтрация через ацетатцеллюлозные фильтры, 1.2 мкм.
3. Стандартная вакуумная фильтрация через ацетатцеллюлозные фильтры, 1.2 мкм – контроль (рутинный лабораторный протокол).

Результаты спектрофотометрического анализа показали, что применение стекловолоконных фильтров с шприцевой системой дает статистически сопоставимые результаты с контрольной группой (5.4 ± 1.52 против 6.01 ± 1.15 мкг/л соответственно, $p > 0.05$). Однако использование ацетатцеллюлозных мембран в сочетании с нагнетательным методом продемонстрировало значительное занижение показателей (2.67 ± 1.07 мкг/л), что объясняется их меньшей сорбционной способностью и частичным вымыванием пигментов при принудительной фильтрации (рис. 3).

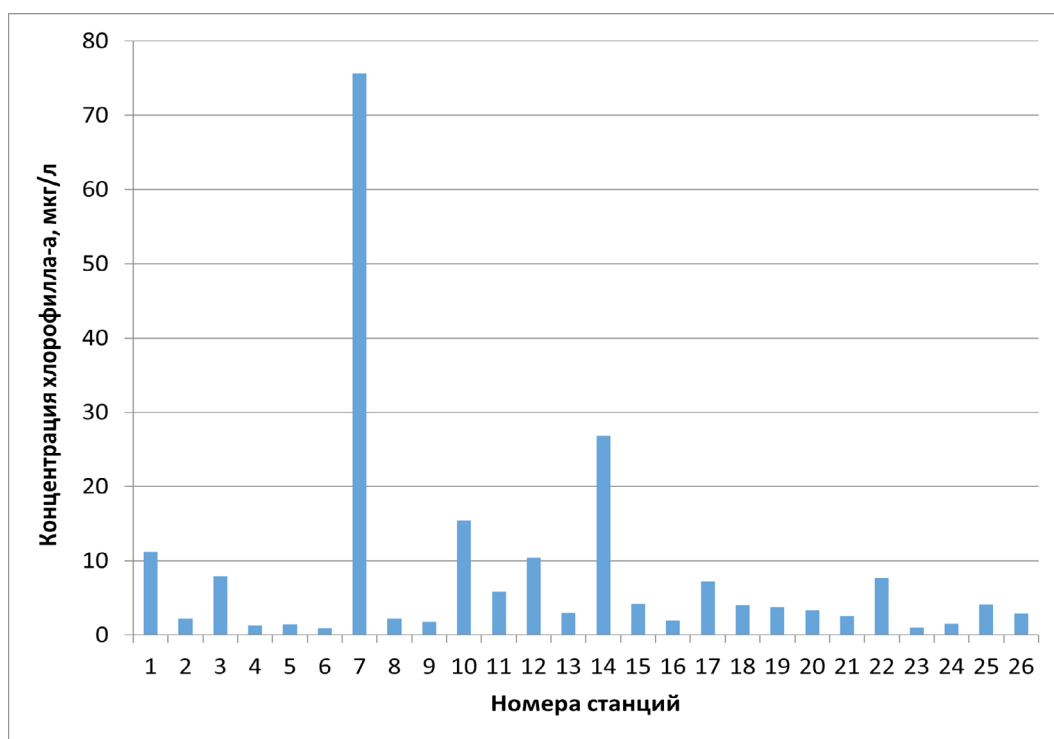


Рисунок 2. Результаты определения концентрации хлорофилла-а в водных объектах острова Сахалин, июль-август 2024.

Figure 2. Results of chlorophyll-a concentration determination in water bodies of Sakhalin island, July-August 2024.

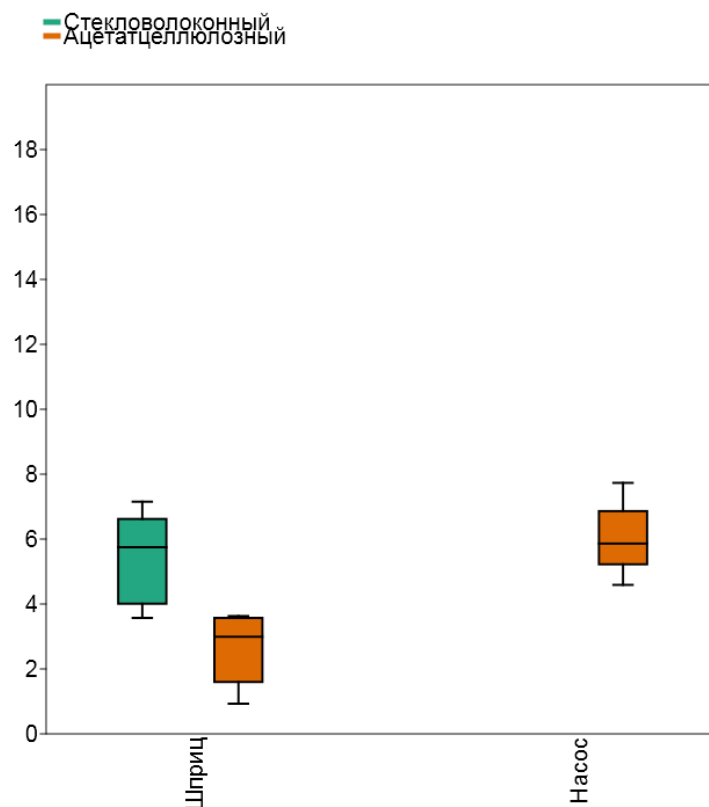


Рисунок 3. Результаты определения концентрации хлорофилла-а (мкг/л) в период массового развития фитопланктона в воде пруда Фрунзенского р-на Санкт-Петербурга, май 2025.

Figure 3. Results of chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/L}$) determination during the period of phytoplankton bloom in the water of Frunzensky District pond, Saint Petersburg, May 2025.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Шприцевой метод со стекловолоконными фильтрами обеспечивает сопоставимую с традиционной методикой точность измерений.

2. Ацетатцеллюлозные мембраны не рекомендуются для использования с нагнетательной системой по причине систематического занижения результатов (в среднем на 55%).

3. Стекловолоконные фильтры обладают дополнительным преимуществом – повышенной механической прочностью, что предотвращает их повреждение при рабочих давлениях до 2.5 атм.

Таким образом, для полевых исследований оптимальным является сочетание портативного шприцевого устройства со стекловолоконными фильтрами, обеспечивающее как точность измерений, так и удобство работы в экспедиционных условиях.

Замораживание проб

Cryopreservation of samples

Вторым методом упрощения сбора проб хлорофилла и доставки в лабораторию для анализа является замораживание в пластиковых бутылках объемом 0.5 л в морозильной камере. Пробы

отбирали в водоемах различного трофического уровня и в разные периоды вегетационного сезона 2024 г. в р. Неве, Финском заливе и озерах Выборгского района Ленинградской области. Пробы отбирались с поверхности в р. Неве и на озерах, а в Финском заливе – батометром интегрально от поверхности до глубины 3 прозрачности. Воду отбирали в чистые сосуды 0.5 л и транспортировали в лабораторию, где из каждого сосуда немедленно фильтровали контрольную подпробу 250 мл на фильтры с диаметром пор 0.8 мкм. Оставшиеся 250 мл замораживались в морозильной камере холодильника. Через месяц пробы размораживались и фильтровались на фильтры с диаметром пор 0.8 мкм.

Хлорофилл-а во всех пробах определялся описанным выше способом. При статистической обработке данных использовали программные пакеты Microsoft Excel и Statistica 10. Были отобраны 54 пробы на фотосинтетические пигменты и проведено сравнение результатов, полученных сразу после отбора проб (AS) и после заморозки (AF).

Проведенный предварительный анализ этих выборок выявил некоторую асимметрию в распределении результатов, поэтому наряду с критерием Стьюдента для оценки их сходства был также использован непараметрический U-критерий

Манна-Уитни. Корреляционный анализ выявил в обоих случаях высокую корреляцию между оценками содержания хлорофилла в свежих и замороженных и определенных после месяца хранения пробах ($r = 0.94$, $n = 54$ и $p < 0.05$). Согласно проведенному статистическому анализу обе исследованные группы происходят из одной генеральной совокупности, и наблюдаемые различия между

средними значениями сравниваемых выборок случайны и невелики (рис. 4). Это позволяет считать, что при заморозке проб, при условии доставки их в лабораторию в течение одного месяца, не происходит заметных изменений состояния фотосинтетических пигментов. Это позволяет использовать данную методику для оценки содержания хлорофилла в водоемах различного трофического статуса.

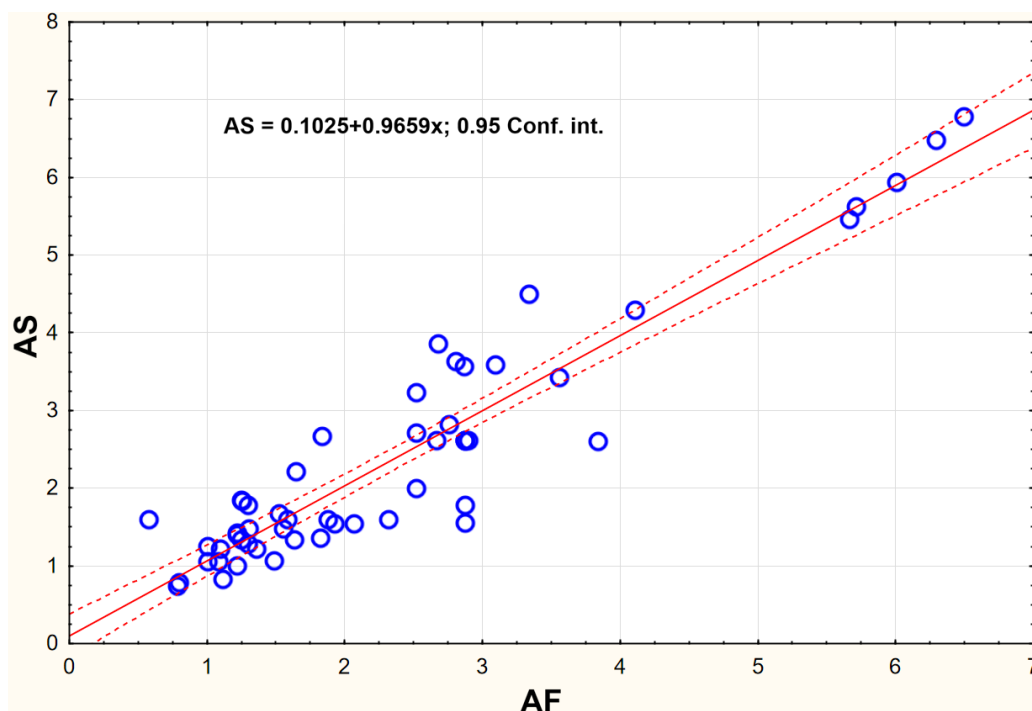


Рисунок 4. Сравнение концентрации хлорофилла-а в свежих (AS) и замороженных (AF) пробах воды, мкг/л, демонстрирующее высокую степень согласованности результатов ($r = 0.94$, $p < 0.05$).

Figure 4. Comparison of chlorophyll-a concentration in fresh (AS) and frozen (AF) water samples, $\mu\text{g/L}$, demonstrating a high degree of result consistency ($r = 0.94$, $p < 0.05$).

Выводы

Conclusions

Описываемый простой и доступный портативный прибор показал высокую эффективность, надежность и удобство в работе в широком диапазоне концентраций хлорофилла и других взвесей в разнотипных водоемах. Оцениваемые значения хлорофилла-а, полученные с использованием стекловолоконных фильтров и шприцевого метода, не показали значимых различий со стандартным вакуумным методом ($p > 0.05$, t-тест). Использование прибора в комплекте со стекловолоконными

фильтрами можно рекомендовать для использования в экспедиционных условиях, что повышает скорость фильтрации и упрощает транспортировку, снижая вес и объем оборудования.

Метод замораживания еще более упрощает процедуру сбора проб в полевых условиях и не требует для этих целей специального оборудования, за исключением морозильной камеры. Он позволяет адекватно оценивать концентрацию хлорофилла в широком диапазоне значений этого показателя при хранении сроком как минимум одного месяца, что было подтверждено данными исследованиями.

Список источников

1. Бульон В.В. Хлорофилл-а как показатель биомассы фитопланктона. *Вода: Химия и экология*. 2017;(8(110)):39-47.
2. Крылов А.В., Барышев И.А., Безматерных Д.М. *Методы гидробиологических исследований*

References

1. Boulion V.V. Chlorophyll-a as an indicator of biomass of phytoplankton. *Voda: Khimiya i ekologiya*. 2017;(8(110)):39-47. (In Russ.)
2. Krylov A.V., Baryshev I.A., Bezmaternykh D.M. *Methods of hydrobiological studies of inland waters*.

внутренних вод. Борок, Ярославская обл.: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024:557.

3. SCOR Working Group 17. *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. Paris, France: UNESCO, 1966:69.
<https://doi.org/10.25607/OBP-1940>
4. Денисов Д.Б. Фитопланктон водоемов Мурманской области в зонах влияния металлургической промышленности. *Труды Кольского научного центра РАН*. 2019;10(4-7):94-108.
<https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108>
5. Насмараев Б.Б., Бархутова Д.Д., Хахинов В.В. *Полевой практикум по водной микробиологии и гидрохимии*. Улан-Уде: Издательство Бурятского государственного университета, 2006:68.

Сведения об авторах

Виктор Ростиславович Алексеев, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии, Зоологический институт РАН; 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 1; alekseev@zin.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1968-2609>

Ольга Александровна Чабан, аспирант лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии, Зоологический институт РАН; 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 1; Olga.Chaban@zin.ru;
<https://orcid.org/0009-0006-4136-8831>

Ольга Борисовна Максимова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга); 199053, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Набережная Макарова, 26; olgamaximova@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.03.2026
Одобрена после рецензирования 30.03.2026
Принята к публикации 30.03.2026

Borok, Yaroslavl region, Russia: Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences; Yaroslavl, Russia: Limited Liability Company Filigran, 2024:557. (In Russ.)

3. SCOR Working Group 17. *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. Paris, France: UNESCO, 1966:69.
<https://doi.org/10.25607/OBP-1940>
4. Denisov D.B. Phytoplankton of the lakes of the Murmansk Region in the zones of influence of the metallurgical industry. *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019;10(4-7):94-108. (In Russ.)
<https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108>
5. Nasmaraev B.B., Barkhutova D.D., Khakhinov V.V. *Field practical training on aquatic microbiology and hydrochemistry*. Ulan-Ude: Banzarov Buryat State University, 2006:68. (In Russ.)

Information about the authors

Viktor R. Alekseev, DSc (Bio), Professor, Chief Research Associate at the Laboratory of Freshwater and Experimental Hydrobiology, Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; 199034, Russian Federation, Saint Petersburg, Universitetskaya Embankment, 1; alekseev@zin.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1968-2609>

Olga A. Chaban, postgraduate student of the Laboratory of Freshwater and Experimental Hydrobiology, Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; 199034, Russian Federation, Saint Petersburg, Universitetskaya Embankment, 1; Olga.Chaban@zin.ru;
<https://orcid.org/0009-0006-4136-8831>

Olga B. Maksimova, CSc (Bio), Senior Researcher Associate at the Hydrobiology Laboratory, Saint Petersburg branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 199053, Russian Federation, Saint Petersburg, Makarova Embankment St., 26; olgamaximova@mail.ru

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office March 17, 2026
Approved after reviewing March 30, 2026
Accepted for publication March 30, 2026