

## Научная статья

УДК 556.55

DOI: 10.24412/2658-4255-2023-4-05-11



EDN: SCCYDB

## Для цитирования:

Фрумин Г.Т., Демешкин А.С.  
Вероятностная оценка трофического статуса озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Российская Арктика. 2023. Т. 5. № 4. С. 05-11.  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-4-05-11>

Получена: 16.06.2023  
Принята: 05.09.2023  
Опубликована: 11.09.2023

## For citation:

Frumin G.T., Demeshkin A.S.  
Probabilistic assessment of the trophic status of lake Bienda-Stemme (Western Spitsbergen). Russian Arctic, 2023, vol. 5, no. 4, pp. 05-11. (In Russian).  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-4-05-11>

## Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2023-0002.



## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ОЗЕРА БИЕНДА-СТЕММЕ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Г.Т. Фрумин<sup>1\*</sup>, А.С. Демешкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Северо-Западный филиал «НПО «Тайфун», г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [\\*gfrumin@mail.ru](mailto:gfrumin@mail.ru)

## Аннотация

Среди современных проблем водной экологии центральное место занимает проблема эвтрофирования. Разработанные классификации трофического статуса водных объектов ориентированы на разные показатели и их комплексы. Актуальность исследования обусловлена тем, что ранее трофический статус озера Биенда-Стемме не был изучен, что не позволяло корректно определить пригодность воды озера для питьевого и хозяйственного назначения для жителей поселка Баренцбург. Цель работы – оценить вероятность трофического статуса озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген). Для оценки трофического статуса озера применены математико-статистические модели, в которых в качестве основного дескриптора использованы среднегодовые концентрации фосфора общего. Впервые рассчитан трофический статус озера за период 2002-2022 годы. Установлено, что, в основном, трофический статус озера характеризуется как олиготрофно-мезотрофный.

**Ключевые слова:** эвтрофирование, трофический статус, вероятностная оценка, математико-статистические модели, озеро Биенда-Стемме (Западный Шпицберген)

## PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE TROPHIC STATUS OF LAKE BIENDA-STEMME (WESTERN SPITSBERGEN)

G.T. Frumin<sup>1\*</sup>, A.S. Demeshkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> North-Western branch of "NPO Typhoon", St. Petersburg, Russia

E-mail: [\\*gfrumin@mail.ru](mailto:gfrumin@mail.ru)

## Abstract

Among the modern problems of aquatic ecology, the central place is occupied by the problem of eutrophication. The developed classifications of the trophic status of water bodies are focused on different indicators and their complexes. The relevance of the study is due to the fact that the trophic status of the lake Bienda-Stemme was not previously studied, which did not allow to correctly determine the suitability of the lake water for drinking and household purposes for the inhabitants of the village of Barentsburg. The purpose of this work is to assess the probability of the trophic status of Lake Bienda-Stemme (Western Svalbard). To assess the trophic status of the lake, mathematical and statistical models were used, in which the average annual concentrations of total phosphorus were used as the main descriptor. For the first time, the trophic status of the lake was calculated for the period 2002-2022. It has been established that, in general, the trophic status of the lake is characterized as oligotrophic-mesotrophic.

**Keywords:** eutrophication, trophic status, probabilistic assessment, mathematical and statistical models, Lake Bienda-Stemme (Western Svalbard)

## Введение

Для корректной оценки пригодности воды озера Биенда-Стемме для питьевого и хозяйственно-бытового водопользования необходимы данные о его загрязненности вредными веществами и о трофическом статусе. Качество поверхностных вод озера за весь период гидрохимического мониторинга (2002-2022 гг.) полностью соответствовало установленным российским гигиеническим нормативам и ПДК, а также нормативам качества воды, установленным в странах Европейского Союза. Таким образом, по уровню загрязнённости вода озера Биенда-Стемме может использоваться для целей питьевого и хозяйственно-бытового водопользования без дополнительной водоподготовки.

К сожалению, до настоящего времени трофический статус озера не определялся.

Среди современных проблем гидроэкологии центральное место занимает проблема эвтрофирования [1-3,19] (синонимы: эвтрофикация, эвтрофирование, эвтрофикация). Согласно ГОСТу 17.1.1.01-77, «эвтрофированием называется повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов». Поскольку эвтрофирование водоемов стало серьезной глобальной экологической проблемой, по линии ЮНЕСКО начаты работы по мониторингу внутренних вод, контролю за эвтрофированием водоёмов земного шара [4].

Особую значимость рассматриваемой проблеме придает наличие на территории России и сопредельных государств трансграничных водных объектов (например, на Северо-Западе России это Чудско-Псковский озерный комплекс, река Нарва, Финский залив, Куршский залив Балтийского моря и др.) [5].

Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшение качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб).

Сине-зеленые водоросли, образующиеся в процессе эвтрофирования, в результате своей жизнедеятельности производят сильнейшие токсины (алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), которые сами не используют, но они, попадая в водную толщу, представляют опасность для живых организмов и человека. Токсины могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных.

В начальной стадии разработки трофической классификации водоёмов использовались различные критерии: содержание биогенных элементов, соотношение концентраций растворённого кислорода в эпилимнионе и гипolimнионе, интенсивность аккумуляции диоксида углерода в гипolimнионе, комплексы видов беспозвоночных и т.д. [6; 7].

Между этими критериями нет прочной связи, поэтому оцениваемые по ним типы озёр, вырисовывались нечетко, более или менее надёжно очерчивались лишь два крайних класса озёр – олиготрофные и эвтрофные. Такое положение сохранялось длительное время, хотя «много раз указывалось, что олиготрофный и эвтрофный типы озёр представляют собой обобщённую характеристику крайних членов ряда природных объектов» [8-9].

Существующие классификации трофического статуса водных объектов ориентированы на разные показатели и их комплексы [10]. Вероятность ошибочной идентификации трофического статуса водоёма может быть очень высокой в случаях использования: малоинформативных индексов; одного единственного индекса трофического статуса; индекса или группы индексов, адаптированных для условий одной климатической зоны, для определения трофности водоёмов в другой климатической зоне; индексов, полученных для водных экосистем циклического типа, для водных экосистем транзитного типа, а также проведения идентификации трофического статуса водоёма по натурным исследованиям одного года (сезона, съёмки).

Каждый из известных методов оценки трофического статуса водных объектов имеет достоинства и недостатки. К примеру, использование индексов трофии, среди которых наиболее популярным в последние годы является индекс Карлсона не «сняло» проблему оценки трофности водной экосистемы. Так, например, при изучении глубоких водохранилищ США исследователи использовали 22 индекса (как химических, так и биологических). Одно из водохранилищ Техаса было отнесено ими к классу олиготрофных по 11 индексам, к классу мезотрофных по 4 индексам и к классу эвтрофных по 7 индексам [14].

В связи с изложенным, определённые перспективы могут быть связаны с применением метода вероятностной оценкой трофического статуса водных объектов.

В предыдущих исследованиях этот метод был применён для оценки трофического статуса некоторых пресноводных озёр России (Ладожское, Онежское, Псковское, Ильмень), Беларуси (Нарочь), Китая и Японии [18]. Цель проведенного исследования – оценить вероятность трофического статуса озера Биенда-Стемме.

Актуальность исследования обусловлена тем, что ранее трофический статус озера не был изучен, что не позволяло корректно определить пригодность воды озера для питьевого и хозяйственного назначения для жителей поселка Баренцбург.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые по данным гидрохимического мониторинга определена динамика трофического статуса озера за многолетний период 2002–2022 гг.

### Объект и методы исследования

Озеро Биенда-Стемме расположено на западном берегу залива Гренфьорд (арх. Шпицберген) (табл. 1, рис. 1). Архипелаг Шпицберген, расположен в Северном Ледовитом океане, между 78°09'25" северной широты и 15°5'51" восточной долготы. Координаты озера 78°3'18" с.ш. и 13°57'55" в.д.

Таблица 1.

Морфометрические характеристики озера Биенда-Стемме

Характеристика	Величина	Характеристика	Величина
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	0,013	Ширина, м	377
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	5,2	Максимальная глубина, м	12,8
Максимальный объем, тыс. м <sup>3</sup>	516	Средняя глубина, м	3,2
Длина, м	595	-	-



Рисунок 1. Залив Гренфьорд

Озеро Биенда-Стемме является источником воды питьевого и хозяйственного назначения для жителей посёлка Баренцбург [11]. Ледниковое озеро Биенда-Стемме расположено на противоположном берегу залива Гренфьорд. По трубопроводу, проложенному по дну залива Гренфьорд, вода поступает в Баренцбург.



Особенности химического состава вод озера и его изменение являются основополагающими показателями при проведении разнообразных исследований природоохранной направленности [12-15].

Озеро Биенда-Стемме расположено в межгорной котловине, вследствие чего питание озера осуществляется за счёт притока вод ледника Вардеборг, расположенного севернее озера, и вод ледника Вёринг, морена которого подпирает южный берег озера.

Особенностями этого региона являются его малонаселенность (плотность населения 0,05 человек/км<sup>2</sup>) и незначительная промышленная активность. Одной из основных нагрузок, оказывающих влияние на природу архипелага Шпицберген, является добыча угля и связанная с ней инфраструктура жилых посёлков. В последние годы увеличивается нагрузка на экосистему и за счёт туристической индустрии, соответственно возрастает количество авто- и мототранспорта, увеличивается число заходов судов в заливы, строится новая инфраструктура.

Пробы воды отбирались в зимне-весенний (время наибольшего снегонакопления) и летне-осенний (июль-сентябрь) периоды с подповерхностного (0,5 м ниже поверхности) и придонного (0,5 м выше дна) горизонтов. Отбор проб проводился в центральной, самой глубокой части озера с поверхностного и придонного горизонтов (0,5 и 9,0 метров, соответственно).

Для оценки трофического статуса озера использованы среднегодовые концентрации фосфора общего (ТР) проб воды, отобранных в апреле и мае с подповерхностного и придонного горизонтов. Использование усредненных значений ТР обусловлено близостью концентраций в подповерхностных и придонных горизонтах. К примеру, в 2003 г. ТР = 9,00 и 8,50 мг/м<sup>3</sup>, в 2015 г. ТР = 11,00 и 10,90 мг/м<sup>3</sup>, в 2019 г. ТР = 1,46 и 1,41 мг/м<sup>3</sup>. При фотическом слое озера 4 метра (приблизительно) проведённое усреднение можно рассматривать как приемлемое.

Гидрохимические исследования проб проводились в аккредитованной химико-аналитической лаборатории СЗФ ФГБУ «НПО «Тайфун».

Использованы аттестованные методики, внесенные в федеральный реестр методик, допущенных к применению в органах государственного контроля. Исследования выполнялись в 2002–2022 гг.

Отбор проб воды производился Северо-Западным филиалом (СЗФ) ФГБУ НПО «Тайфун» [16]. Перечень гидрохимических анализов включал определение 31 показателя: рН, тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, нефтяных углеводородов, биогенных элементов и др. Определение содержания фосфора общего выполнялось колориметрическим методом с предварительным окислением пробы воды кипячением с персульфатом калия в соответствии с требованиями документа РД 52.24.387-2006. В 2005, 2006, 2016-2018 и 2021 гг. данные о концентрациях фосфора общего (ТР) отсутствуют. Чувствительность метода определения 5 мг/м<sup>3</sup>.

Для оценки трофического статуса озера был использован вероятностный подход, ранее разработанный ОЭРК (Организация экономического развития и кооперации), и базирующийся на данных о содержании фосфора общего [17].

Для оценки уровня трофности были использованы пять градаций:  $\mu_{\text{VO}}$  – вероятность ультраолиготрофного статуса,  $\mu_{\text{O}}$  – вероятность олиготрофного статуса,  $\mu_{\text{M}}$  – вероятность мезотрофного статуса,  $\mu_{\text{Э}}$  – вероятность эвтрофного статуса и  $\mu_{\text{ГТ}}$  – вероятность гипертрофного статуса.

Во всех случаях должно выполняться следующее соотношение:

$$\mu_{\text{VO}} + \mu_{\text{O}} + \mu_{\text{M}} + \mu_{\text{Э}} + \mu_{\text{ГТ}} = 1 \text{ или } 100\%$$

Кривые вероятностной классификации трофического статуса озёр, разработанные ОЭРК, были аппроксимированы аналитическими зависимостями (табл. 2) [18].

Таблица 2.

Формулы для расчётов вероятностей трофического статуса водоёмов по средним за год концентрациям фосфора общего (мг/м<sup>3</sup>)

Трофический статус	Математико-статистические модели
Ультраолиготрофный	$\mu(\text{ТР})_{\text{VO}} = 1 - \exp\{-\exp[-0,357 \cdot (\text{ТР}) + 1,25]\}$
Олиготрофный	$\mu(\text{ТР})_{\text{O}} = 0,66 \cdot \exp\{-[-0,947 \cdot \ln(\text{ТР}/8)]^2\}$
Мезотрофный	$\mu(\text{ТР})_{\text{M}} = 0,66 \cdot \exp\{-[-0,995 \cdot \ln(\text{ТР}/26)]^2\}$
Эвтрофный	$\mu(\text{ТР})_{\text{Э}} = 0,66 \cdot \exp\{-[-0,964 \cdot \ln(\text{ТР}/89)]^2\}$
Гипертрофный	$\mu(\text{ТР})_{\text{ГТ}} = \exp\{-\exp[-0,0123 \cdot (\text{ТР}) + 1,65]\}$

## Результаты и обсуждение

По формулам, приведенным в табл. 2, были рассчитаны вероятности трофического статуса озера (табл. 3). Для расчётов использованы осредненные за год концентрации фосфора общего. Различия трофического статуса озера между сезонами не выявлялись.

Таблица 3.

Вероятностная оценка трофического статуса озера Биенда-Стемме

Год	TP, мг/м <sup>3</sup>	$\mu_{y_0}$	$\mu_0$	$\mu_m$	$\mu_z$	Трофический статус
2002	8,5	0,15	0,65	0,19	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2003	8,8	0,14	0,65	0,21	0,00	Олиготрофно-мезотрофный
2004	12,0	0,05	0,57	0,37	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2007	11,5	0,06	0,59	0,34	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2008	10,0	0,09	0,63	0,27	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2009	11,5	0,06	0,59	0,34	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2010	18,0	0,01	0,37	0,58	0,04	Мезотрофно-олиготрофный
2011	10,0	0,09	0,63	0,27	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2012	10,8	0,07	0,61	0,31	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2013	6,1	0,33	0,62	0,05	0,00	Олиготрофно-мезотрофный
2014	5,4	0,40	0,57	0,03	0,00	Олиготрофно-мезотрофный
2015	11,0	0,07	0,60	0,32	0,01	Олиготрофно-мезотрофный
2020	7,9	0,19	0,66	0,15	0,00	Олиготрофно-мезотрофный
2022	12,5	0,04	0,55	0,39	0,02	Олиготрофно-мезотрофный
Среднее	10,3	0,13	0,59	0,27	0,01	Олиготрофно-мезотрофный

Как следует из данных, приведённых в табл. 3, трофический статус озера Биенда-Стемме, в основном, характеризуется как олиготрофно-мезотрофный (на 59% - олиготрофный и на 27% - мезотрофный). Такой трофический статус озера обусловлен незначительной антропогенной нагрузкой фосфором общим и низкой температурой. Так, по данным многолетних наблюдений, среднегодовая температура воздуха на острове Западный Шпицберген для посёлка Баренцбург составляет -6,4°C [11]. За рассматриваемый период в апреле-мае средний диапазон температур воды озера (подповерхностный слой - придонный слой) 0,95-3,95°C, а в 2010 г. 3,95°C. Более высокая температура воды озера в 2010 г., возможно, стала причиной поступления фосфора из донных отложений в воду, что и привело к повышению концентрации фосфора общего в воде (18 мг/м<sup>3</sup>).

Диапазоны температур воды в местах отбора проб: подповерхностный слой 0,40-3,90°C, придонный слой 0,80-4,00°C (апрель - май), подповерхностный слой 1,10-6,60°C, придонный слой 1,00-5,90°C (июль - август - сентябрь).

Для оценки статистической значимости рассчитанных вероятностей был применён дисперсионный анализ для средних значений, приведённых в таблице 3. Для числа степеней свободы  $n=14+14-2=26$  значение  $t$  критерия Стьюдента ( $t_{\text{критическое}}$ ) равно 2,06 при уровне значимости 0,05. Было установлено, что разница между средними величинами  $\mu_{y_0}$  и  $\mu_0$  ( $t=12,8$ ),  $\mu_0$  и  $\mu_m$  ( $t=7,16$ ),  $\mu_m$  и  $\mu_z$  ( $t=6,5$ ) статистически достоверна.

## Заключение

Озеро Биенда-Стемме – основной источник воды питьевого и хозяйственного назначения для жителей посёлка Баренцбург. Впервые проведена вероятностная оценка трофического статуса озера за период 2002-2022 гг. Установлено, что за этот период трофический статус озера в основном характеризуется как олиготрофно-мезотрофный. Это означает, что с позиций трофности вода озера Биенда-Стемме пригодна для использования для питьевого и хозяйственного назначения для жителей посёлка Баренцбург без специальной обработки. Ранее состояние озера оценивалось лишь по уровню химического загрязнения без учёта его трофического статуса и эта информация передавалась в администрацию посёлка Баренцбург.

**Список литературы:**

1. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
2. Остроумов С.А. Синэкологические основы решения проблемы эвтрофирования. //ДАН, 2001. №5. С. 709-712.
3. Фрумин Г.Т., Гильдеева И.М. Эвтрофирование водоемов – глобальная экологическая проблема. //Экологическая химия. 2013. № 4. С. 191-207.
4. Дмитриев В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем. СПб.: СПбГУ, 1995. 215 с.
5. Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т. Трансграничные водные объекты. СПб.: СпецЛит, 2017. 159 с.
6. Hutchinson G.E. A treatise on limnology. 1957. Vol. 1. Geography, physics and chemistry. New York: Wiley. 1015 p.
7. Ohle W. Bioactivity, production, and energy utilization of lakes // Limnology, Oceanography. 1956. Vol. 1, N 3. P.139-149.
8. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Академия наук БССР, 1960. 329 с.
9. Бульон В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С.147-157.
10. Неверова-Дзиопик Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
11. Дёмин Ю.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С., Власов С.В., Крылов С.С., Лалетин Н.А. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности предприятий на архипелаге Шпицберген (посёлок Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002–2010 гг. СПб.: ААНИИ, 2011. 316 с.
12. Семенов А.В., Давыдов А.А., Ипатов А.Н. Гидрологическое обследование озера Биенда-Стемме (архипелаг Шпицберген). // Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2003. Апатиты. С. 127-136.
13. Лалетин Н.А., Большианов Д.Ю., Граевский А.П. Гидрохимическая характеристика и особенности состава вод Биенда-Стемме (о. Западный Шпицберген). // Вода: химия и экология. 2012. №7. С. 18-22.
14. Дёмин Ю.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С., Власов С.В. Загрязнение почвенно-растительного комплекса в окрестностях рудника «Баренцбург» полициклическими ароматическими углеводородами. // Арктика: экология и экономика. 2012. №3(7). С. 62-73.
15. Frumin G.T., Demeshkin A.S. Environmental and Toxicological Assessment of the Quality of Water in the Lake Bienda-Stemme (Western Spitsbergen) // Russian Journal of General Chemistry. 2020. Vol. 90. No. 13, P. 2619–2621.
16. Фрумин Г.Т., Демешкин А.С., Маликов У.М. Экологически допустимые уровни металлов в озере Биенда-Стемме (Западный Шпицберген). // Арктика: экология и экономика. 2022. №2. С. 183-190.
17. OECD, 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris, 154 pp.
18. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Вероятностная оценка трофического статуса водных объектов. Методическое пособие. СПб.: РГГМУ, 2012. 28 с.
19. Bhagowati B., Ahamad K.U. A review on lake eutrophication dynamics and recent developments in lake modeling //Ecohydrology & Hydrobiology. 19 (1). P 155-166.

**References:**

1. Khenderson-Sellers B., Marklend KH.R. Umirayushchiye ozera. Prichiny i kontrol' antropogennogo evtrofirovaniya. L., Gidrometeoizdat Publ., 1990. 280 p. (In Russian).
2. Ostroumov S.A. Sinekologicheskiye osnovy resheniya problemy evtrofirovaniya. DAN, 2001, no. 5, pp. 709-712. (In Russian).
3. Frumin G.T., Gil'deyeva I.M. Evtrofirovaniye vodoyemov – global'naya ekologicheskaya problema. Ekologicheskaya khimiya, 2013, no. 4, pp. 191-207. (In Russian).
4. Dmitriyev V.V. Diagnostika i modelirovaniye vodnykh ekosistem. SPb. SPbGU, 1995, 215 p. (In Russian).
5. Timofeyeva L.A., Frumin G.T. Transgranichnyye vodnyye ob'yekty. SPb.SpetsLit Publ., 2017, 159 p. (In Russian).

6. Hutchinson G.E. A treatise on limnology. Geography, physics and chemistry. New York, Wiley, 1957, vol. 1, 1015 p.
7. Ohle W. Bioactivity, production, and energy utilization of lakes. Limnology, Oceanography, 1956, vol. 1, no. 3. pp. 139-149.
8. Vinberg G.G. Pervichnaya produktsiya vodoyemov. Minsk, Akademiya nauk BSSR, 1960, 329 p. (In Russian).
9. Bul'on V.V. Pervichnaya produktsiya i troficheskaya klassifikatsiya vodoyemov. SPb., Gidrometeoizdat Publ., 1993, pp.147-157. (In Russian).
10. Neverova-Dziopik Ye., Tsvetkova L.I. Otsenka troficheskogo sostoyaniya poverkhnostnykh vod: monografiya. SPb., SPbGASU, 2020, 176 p. (In Russian).
11. Domin YU.N., Grayevskiy A.P., Demeshkin A.S., Vlasov S.V., Krylov S.S., Laletin N.A. Sostoyaniye i tendentsii izmeneniya zagryazneniya okruzhayushchey sredy v mestakh khozyaystvennoy deyatel'nosti predpriyatiy na arhipelage Shpitsbergen (posolok Barentsburg i sopredel'nyye territorii) za period 2002–2010 gg. SPb., AANII, 2011, 316 p. (In Russian).
12. Semenov A.V., Davydov A.A., Ipatov A.N. Gidrologicheskoye obsledovaniye ozera Biyenda-Stemme (arhipelag Shpitsbergen). Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena, Apatity, 2003, pp. 127-136. (In Russian).
13. Laletin N.A., Bol'shiyanov D.YU., Grayevskiy A.P. Gidrokhimicheskaya kharakteristika i osobennosti sostava vod Biyenda-Stemme (o. Zapadnyy Shpitsbergen). Voda: khimiya i ekologiya, 2012, no.7. pp. 18-22. (In Russian).
14. Domin YU.N., Grayevskiy A.P., Demeshkin A.S., Vlasov S.V. Zagryazneniye pochvenno-rastitel'nogo kompleksa v okrestnostyakh rudnika "Barentsburg" politsiklicheskimi aromatcheskimi uglevodorodami. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2012, 3(7), pp. 62-73. (In Russian).
15. Frumin G.T., Demeshkin A.S. Environmental and Toxicological Assessment of the Quality of Water in the Lake Bienda-Stemme (Western Spitsbergen). Russian Journal of General Chemistry, 2020, vol. 90, no. 13, pp. 2619–2621.
16. Frumin G.T., Demeshkin A.S., Malikov U.M. Ekologicheski dopustimyye urovni metallov v ozere Biyenda-Stemme (Zapadnyy Shpitsbergen). Arktika: ekologiya i ekonomika, 2022, no.2. pp. 183-190. (In Russian).
17. OECD. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD, 1982, Paris, 154 p.
18. Frumin G.T., Khuan Zhan'-Zhan'. Veroyatnostnaya otsenka troficheskogo statusa vodnykh ob'yektov. Metodicheskoye posobiye. SPb., RGGMU, 2012, 28 p. (In Russian).
19. Bhagowati B., Ahamad K.U. A review on lake eutrophication dynamics and recent developments in lake modeling. Ecohydrology & Hydrobiology, 19 (1), pp. 155-166.