

УДК 556.115:579.8:556.555.5(470.22)

ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА МАКАРОВА

младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)

*emm777@bk.ru***ЗАХАР ИВАНОВИЧ СЛУКОВСКИЙ**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)

*slukovskii_z@igkrc.ru***АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ МЕДВЕДЕВ**

младший научный сотрудник лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)

*sanjam22@mail.ru***ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ НОВИЦКИЙ**

старший лаборант-исследователь лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)

nov.dimka@mail.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ МАЛЫХ ОЗЕР Г. ПЕТРОЗАВОДСКА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД*

Приводятся результаты исследования зимнего бактериопланктона двух малых озер, расположенных на территории г. Петрозаводска (Республика Карелия). Оба озера находятся в условиях техногенного влияния. На основе полученных в марте – апреле 2016 года данных представлена оценка качества вод озера Четырехверстного и озера Ламба. Анализ качества воды водоемов показал, что озера подвержены процессам эвтрофирования. По показателям численности бактериопланктона озера соответствуют мезотрофным типам водоемов. Морфологические характеристики клеток свидетельствуют о процессах гипертрофизации вод. В зимних условиях были отмечены низкие показатели углеродородокисляющих бактерий.

Ключевые слова: бактериопланктон, оценка качества воды, урбанизированные территории, малые озера

На территории Республики Карелия насчитывается 61,1 тыс. озер, из которых около 98 % характеризуются площадью водной поверхности менее 1 км² [23]. Региональные особенности карельских водоемов проявляются в слабой минерализации, большом содержании органического вещества (ОВ), низких значениях pH, высокой цветности [10]. На урбанизированных территориях водные объекты (в том числе малые озера) подвергаются антропогенному воздействию, что является причиной изменения в них кислородного режима, накопления биогенных элементов (азота и фосфора), приводящих в итоге к эвтрофированию водоемов и, как следствие, к изменению среды обитания гидробионтов [6], [24]. В результате водоемы на урбанизированных

территориях часто теряют свой рекреационный потенциал.

Водные микроорганизмы участвуют в процессах самоочищения озер, играя ключевую роль в жизни водоемов, а также служат надежными индикаторами загрязнения водной среды. Благодаря высокой скорости метаболизма и способности утилизировать вещества различного происхождения, микроорганизмы реагируют на любые незначительные изменения условий среды [22]. Количественное развитие бактерий в водоеме зависит от различных факторов: морфологии водоема, гидрологического, гидрофизического и гидрохимического режимов, а также от степени антропогенного влияния. Количественные показатели микробного сообщества позволяют оценить экологическое состояние водоемов

и концентрацию находящихся в воде органических веществ.

В Карелии малые водоемы покрыты льдом с ноября до середины мая [5]. Исследования подледного бактериопланктона малых водоемов урбанизированных территорий проводятся весьма редко. В настоящей работе представлен первый опыт подобных наблюдений на примере малых озер, расположенных на территории г. Петрозаводска. При низких температурных условиях бактериопланктон замедляет свои процессы жизнедеятельности [1]. Тем не менее в зимний пери-

од может быть получена важная информация для оценки качества воды малых озер, что и явилось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Микробиологические исследования проводились в период ледостава в 2016 году на малых озерах: Четырехверстном и озере Ламба (рисунок).

Оба озера отличаются по морфометрическим и химическим характеристикам (табл. 1, 2), относятся к мезотрофному типу озер [11], [20].



Схема расположения объектов исследования

Основные морфометрические и гидрологические характеристики оз. Четырехверстное и оз. Ламба [16]

Таблица 1

Характеристики	Оз. Четырехверстное	Оз. Ламба
Площадь зеркала, км ² (га)	0,118 (11,8)	0,0140 (1,4)
Длина береговой линии, км	1,5	0,58
Объем, млн м ³	0,373	0,047
Длина, км	0,6	0,24
Ширина, км	средняя	0,20
Глубина, м	наибольшая	0,23
	средняя	3,2
Площадь водосбора, км ²	наибольшая	4,6
	средняя	0,77
		5,2

Химические показатели воды в зимний период оз. Четырехверстного и оз. Ламба [7]

Таблица 2

	Оз. Четырехверстное	Оз. Ламба
Робщ, мгР/л	0,023	0,104
Электропроводность, мк См/см	196,5	144,9
Цветность, град.	41	98

Озеро Четырехверстное расположено на юго-востоке от центра города в микрорайоне Ключевая. Котловина имеет простое строение с глубоководными участками в северной и центральной частях. Из озера вытекает ручей Каменный, который впадает в Онежское озеро. Показатели рН воды варьируют в пределах 7,2–8,0, при этом максимальные значения наблюдаются в весенний период [19].

В донных отложениях оз. Четырехверстного отмечен высокий уровень накопления свинца, что объясняется выбросами автотранспорта и близким расположением к озеру железной дороги [21].

Озеро Ламба находится в северо-западной части города в микрорайоне Сулажгора. Котловина имеет простое строение. Из озера вытекает ручей Студенец, который является притоком р. Томица, впадающей в оз. Логмозеро. Берега водоема низкие и заболоченные [7], как следствие – воды оз. Ламба отличаются высокой цветностью и низкой прозрачностью. Это является причиной низкого видового богатства и низкой плотности перифитона. В фитоперифитоне оз. Ламба обнаружено 29 видов синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей [6]. Оз. Ламба испытывает техногенное влияние Петрозаводской ТЭЦ, что подтверждается высоким накоплением в донных отложениях ванадия и никеля [21].

Оба водоема являются объектом рекреационного использования.

Согласно методическим указаниям [4], пробы воды отбирались в стерильную посуду с поверхностного слоя центральных и прибрежных участков озер. Температура поверхностного слоя воды изменялась в пределах 0,3–0,8 °С.

Исследования включали определение количественных показателей бактериопланктона: общую численность бактерий (ОЧБ) в воде, количество сапрофитного бактериопланктона (СБ), олигокарбофильных бактерий (ОКБ), а также численность фенолрезистентных (ФРБ) и углеводородокисляющих (УОБ) микроорганизмов, как показателей антропогенного загрязнения нефтяными углеводородами.

Общую численность бактерий определяли методом прямого счета, используя окрашенные суданом черным фильтры производства Whatmann®, предварительно окрашивая бактерии акридином оранжевым [26]. Учет численности сапрофитных микроорганизмов производили на среде РПА. Численность гетеротрофных бакте-

рий определяли на обедненной среде РПА 1:10. Количество фенолрезистентных и углеводородокисляющих микроорганизмов определяли на селективных средах [9], [14], [17]. Посевы проводили глубинным методом. Результаты были представлены как количество колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 мл воды. Объемы клеток бактерий рассчитывали как объем подходящих им по форме геометрических фигур (шар, эллипс, цилиндр). Измерения проводили при помощи компьютерной программы MMC (MultiMedia-Catalog).

Для экологической оценки трофности водоемов использовали индекс трофии (ИТ), рассчитанный как отношение групп бактерий ОКБ/СБ [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ полученных данных показал, что величины общей численности бактерий в исследуемых водоемах варьировали в пределах 1,96–3,22 млн кл./мл (табл. 3). Максимальная численность бактерий наблюдалась в прибрежной зоне оз. Четырехверстного, что может быть связано с поступлением аллохтонного органического вещества с водосборной территории [2].

Средние показатели численности бактериопланктона в обоих озерах были соизмеримы (см. табл. 3). По величине общей численности бактерий оз. Четырехверстное в период зимней стагнации соответствует мезотрофному типу [8]. По качеству воды озеро может быть оценено как умеренно загрязненное – загрязненное [3]. Оз. Ламба также является мезотрофным, а качество его воды соответствует умеренно загрязненному классу.

Микрофлора поверхностного слоя воды изученных озер была представлена различными формами бактерий. В пробах преобладали палочковидные формы, что указывает на присутствие в водоемах трудноразлагаемого органического вещества [12].

В оз. Четырехверстное доля палочковидных форм составляла 69 % от ОЧБ, в оз. Ламба – 75 % от ОЧБ. Соотношение палочковидных форм и кокковых составляло 2,6 и 5,6 соответственно, что демонстрирует низкую самоочистительную способность водоемов в зимний период [25].

Пределы колебаний величин средних размеров клеток бактерий составляли: 0,0002–4,57 мкм³ в оз. Четырехверстное и 0,009–3,3 мкм³ в оз. Ламба. Средний объем клеток в оз. Четырехверс-

Таблица 3

Средние показатели численности бактерий в озерах г. Петрозаводска

Озеро	ОЧ, млн кл./мл	Численность бактерий, КОЕ/мл				ИТ
		СБ	ОКБ	ФРБ	УОБ	
Четырехверстное	2,59	189	806	464	4	4,3
Ламба	2,47	844	1450	735	38	1,7

тное – 0,25 мкм³, в оз. Ламба – 0,29 мкм³. Данные по средним объемам клеток бактерий свидетельствуют о гипертрофизации озерных вод [8].

В поверхностном слое воды численность сапрофитных бактерий, которые растут на средах с большим содержанием органического вещества и являются его основными деструкторами, а также численность олигокарбофильных бактерий, нуждающихся в минимальных концентрациях ОВ, были высокими (см. табл. 3). В целом это свидетельствует о загрязнении водоемов органическим веществом. Для изученных озер установлены низкие величины индекса трофии (ИТ). Для водоемов олиготрофного типа этот показатель имеет значения 4–20 [13]. Значения ИТ для оз. Ламба свидетельствуют о его значительном эвтрофировании. Хотя показатель ИТ оз. Четырехверстного немного выше 4, также можно говорить о загрязнении водоема легкоминерализуемым ОВ.

Индикаторами загрязнения воды нефтепродуктами являются показатели численности углеводородокисляющих микроорганизмов. Несмотря на то, что озера подвергаются техногенному загрязнению, величины численности углеводородокисляющих микроорганизмов в обоих озерах свидетельствуют о низком содержании в воде нефтепродуктов. Это может быть объяснено тем, что накопление и деструкция нефтепродуктов протекают в этих озерах преимущественно в иловых отложениях [15].

Высокая численность фенолрезистентных бактерий может указывать на загрязнение воды фенольными соединениями (их численность в изучаемых озерах варьировала в пределах 464–735 КОЕ/мл). Наблюдаемое явление в условиях Республики Карелия при высоких концентрациях гуминовых веществ в водоемах весьма

распространено. Кроме того, высокая численность фенолрезистентных бактерий может свидетельствовать о загрязнении воды нефтепродуктами, поскольку фенолы являются промежуточным звеном их неполной трансформации [2]. Численность фенолрезистентных бактерий в оз. Ламба выше, чем в оз. Четырехверстное, что свидетельствует, скорее всего, о высоком содержании в воде гумусовых веществ этого озера, цветность которого может достигать 180 град в зависимости от сезона [6].

Показатели численности углеводородокисляющих микроорганизмов были на уровне 4–38 КОЕ/мл. Поскольку о загрязнении воды нефтепродуктами можно судить по численности углеводородокисляющих бактерий, превышающей 10²–10³ КОЕ/мл [18], загрязнение водной толщи нефтепродуктами в период исследования было незначительным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния зимнего бактериопланктона в поверхностном слое воды показал, что малые озера на территории г. Петрозаводска соответствуют статусу мезотрофных. Несмотря на слабую активность бактериопланктона зимой, в озерах Четырехверстное и Ламба выявлены высокие показатели численности микроорганизмов. Это свидетельствует о загрязнении водоемов органическим веществом, которое определило низкое качество их вод. Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости принятия мер по снижению антропогенной нагрузки на городские озера. Использование водоемов в рекреационных целях возможно весьма ограничено, в виде прогулок вдоль берегов, запрещены купание, использование воды в питьевых целях.

* Исследование проведено в рамках выполнения госзадания в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН по бюджетной теме № 0223-2014-0012 «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция озер на антропогенное воздействие и изменения климата в северном полушарии» (50 %), а также при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00026 мол_а (50 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Д. Н. Бактериопланктон и микрофлора донных отложений Онежского озера // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л.: Наука, 1973. С. 5–83.
2. Белкина Н. А., Рыжиков А. В., Тимакова Т. М. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. №. 4. С. 472–481.
3. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М., 1982.
4. ГОСТ 31942-2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М., 2012.
5. Ефремова Т. В., Здоровеннова Г. Э., Пальшин Н. И. Ледовый режим озер Карелии // Водная среда: обучение для устойчивого развития. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. С. 31–40.
6. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон в водоемах г. Петрозаводска (Республика Карелия) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2014. №. 2.
7. Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Сластина Ю. Л., Теканова Е. В., Ключкова М. А. Структура и функционирование сообществ водных организмов в малых водоемах города Петрозаводска // Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 67–73.
8. Копылов А. И., Косолапов Д. Б. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоемов // Биомониторинг пресноводных экосистем. СПб.: ЛЕМА, 2007. С. 176–181.
9. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.

10. Лозовик П. А., Филатов Н. Н. Качество поверхностных вод // Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества. Петрозаводск; Куопио, 2006.
11. Лозовик П. А., Шкиперова О. Ф., Зобков М. Б., Платонов А. В. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды Карельского НЦ РАН. Петрозаводск, 2006. Вып. 9. С. 130–143.
12. Мамонтова Л. М. Основы микробиологического мониторинга водных экосистем и контроля питьевой воды: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Иркутск, 1998. 40 с.
13. Марголина Г. Л. Микробиологические процессы деструкции в пресноводных водоемах. М.: Наука, 1989. 120 с.
14. Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов. Утвер. Главным санитарным эпидемиологическим управлением МЗ СССР 19 января 1981 № 2585-81. М., 1981. 36 с.
15. Михайлова Л. В. и др. Трансформация экосистемы таежной реки Ватинский Еган, хронически загрязняемой нефтью // Структурно-функциональные особенности биосистем севера (особи, популяции, сообщества): Материалы конф. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. Ч. 2. С. 26.
16. Потахин М. С. Морфологические особенности водоемов г. Петрозаводска // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана: Материалы IV Школы-конференции молодых ученых с междунар. участием (26–28 августа 2011 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 180–183.
17. Родина А. Г. Методы водной микробиологии: Практическое руководство. М.: Наука, 1965. 364 с.
18. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. В. А. Абакумов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
19. Сластина Ю. Л., Клочкова М. А. Сезонная динамика фитопланктона оз. Четырехверстного // Материалы IV Школы-конференции молодых ученых с международным участием (26–28 августа 2011 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 121–123.
20. Сластина Ю. Л., Комулайнен С. Ф. Динамика биомассы фитопланктона в малых водоемах г. Петрозаводска // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. 2012. С. 226.
21. Слуковский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия. 2015. Т. 24. № 1. С. 56–62.
22. Теканова Е. В., Макарова Е. М., Калинин Н. М. Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного воздействия по микробиологическим и токсикологическим показателям // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2015. № 9. С. 44–52.
23. Филатов Н. Н., Литвиненко А. В., Потахин М. С. Гидрографические особенности водоемов // Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова и В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 15–21.
24. Хендерсон-Селлерс Б. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 487 с.
25. Хмелевская И. А. Микробиологическая индикация загрязнения водной среды // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2013. № 3.
26. Hobbie J. E., Daley R. J., Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Applied and environmental microbiology. 1977. Т. 33. № 5. С. 1225–1228.

Makarova E. M., Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre, RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Slukovskii Z. I., Institute of Geology of Karelian research center, RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Medvedev A. S., Institute of Geology of Karelian research center, RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Novitsky D. G., Institute of Geology of Karelian research center, RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN SMALL LAKES OF PETROZAVODSK ACCORDING TO INDICATORS OF BACTERIAL PLANKTON IN THE SUBGLACIAL PERIOD

The paper presents the results of the study of winter bacterial plankton of two small lakes located on the territory of Petrozavodsk (Republic of Karelia). Both lakes are under technogenic influence. The assessment of the quality of the waters of Chetyrehverstnoye Lake and Lamba Lake, based on the data obtained in March–April 2016, is presented. Analysis of the water quality in reservoirs has shown that the lakes are affected by eutrophication processes. According to the indicators of bacterial plankton abundance, the lakes correspond to the mesotrophic types of water bodies. Morphological characteristics of the cells indicate the processes of hypertrophy of water. In winter conditions, low indices of hydrocarbon-oxidizing bacteria were noted.

Key words: bacterial plankton, water quality assessment, The urbanized territories, small lakes

REFERENCES

1. Aleksandrova D. N. Bacterioplankton and microflora of bottom sediments of Onega Lake [Bakterioplankton i mikroflora donnykh otlozheniy Onezhskogo ozera]. *Mikrobiologiya i pervichnaya produkcija Onezhskogo ozera*. Leningrad, Nauka Publ., 1973. P. 5–83.
2. Belkina N. A., Ryzhakov A. V., Timakova T. M. Distribution and transformation of petroleum hydrocarbons in the sediments of Lake Onega [Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера]. *Vodnye resursy*. 2008. Vol. 35. № 4. P. 472–481.

3. GOST 17.1.3.07-82. *Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov* [GOST 17.1.3.07-82. The Nature Conservancy. Hydrosphere. Rules for water quality control of water bodies and streams]. Moscow, 1982.
4. GOST 31942-2012. *Voda. Otorbor prob dlya mikrobiologicheskogo analiza* [GOST 31942-2012. The water. Sampling for microbiological analysis]. Moscow, 2012.
5. Efremova T. V., Zdorovennova G. Je., Pal'shin N. I. The ice regime of Karelian lakes [Ledovyy rezhim ozer Karelii]. *Vodnaya sreda: obuchenie dlya ustoychivogo razvitiya*. Petrozavodsk, Karel'skiy NTs RAN Publ., 2010. C. 31–40.
6. Komulajnen S. F. Phitoperiphyton in some small water bodies of the city of Petrozavodsk (Republic of Karelia) [Fitoperifiton v vodoemakh g. Petrozavodsk (Respublika Kareliya)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2014. № 2.
7. Komulajnen S. F., Kruglova A. N., Slastina Ju. L., Tekanova E. V., Klochkova M. A. The structure and functioning of aquatic communities' organisms in small water bodies of the city of Petrozavodsk [Struktura i funkcionirovanie soobshchestv vodnykh organizmov malyykh vodoemakh goroda Petrozavodsk]. *Vodnye ob'ekty goroda Petrozavodsk: Uchebnoe posobie* Ed. A. V. Litvinenko, T. I. Regerand. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2013. P. 67–73.
8. Kopylov A. I., Kosolapov D. B. Microbiological indicators of eutrophication of fresh water bodies [Mikrobiologicheskie indikatory evtrofirovaniya presnykh vodoemov]. *Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ekosistem*. St. Petersburg, LEMA Publ., 2007. P. 176–181.
9. Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. *Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov* [Methods of studying aquatic organisms]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 288 p.
10. Lozovik P. A., Filatov N. N. Surface water quality [Kachestvo poverkhnostnykh vod]. *Vodnye resursy Respubliki Kareliya i puti ikh ispol'zovaniya dlya pit'evogo vodosnabzheniya. Opyt karel'sko-finlyandskogo sotrudnichestva*. Petrozavodsk, Kuopio, 2006.
11. Lozovik P. A., Shkiperova O. F., Zobkov M. B., Platonov A. V. Geochemical characteristics of the surface water in Karelia and its classification by chemical indicators [Geokhimicheskie osobennosti poverkhnostnykh vod Karelii i ikh klassifikatsiya po khimicheskim pokazatelyam]. *Trudy Karel'skogo NTs RAN*. Petrozavodsk, 2006. Issue 9. P. 130–143.
12. Mamontova L. M. *Osnovy mikrobiologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem i kontrolya pit'evoy vody: Avtoref. dis. ... d-ry biol. nauk* [Fundamentals of microbiological monitoring of aquatic ecosystems and control of drinking water]. Irkutsk, 1998. 40 p.
13. Margolina G. L. *Mikrobiologicheskie protsessy destruktiv v presnovodnykh vodoemakh* [Microbiological processes of destruction in freshwater reservoirs]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 120 p.
14. *Metodicheskie ukazaniya po sanitarno-mikrobiologicheskomu analizu vody poverkhnostnykh vodoemov* [Methodical instructions for the sanitary-microbiological analysis of the surface water]. Moscow, 1981. 36 p.
15. Mihajlova L. V. i dr. Transformation of the ecosystem of the taiga river Vatin'skiy Egan, chronically polluted by oil [Transformatsiya ekosistemy taezhnoy reki Vatin'skiy Egan, khronicheskii zagryaznyaemoy neft'yu]. *Strukturno-funktsional'nye osobennosti biosistem severa (osobi, populyatsii, soobshchestva): Materialy konf.* Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2005. Part 2. P. 26.
16. Potahin M. S. Morphological features of reservoirs in Petrozavodsk [Morfologicheskie osobennosti vodoemov g. Petrozavodsk]. *Vodnaya sreda i prirodno-territorial'nye komplekсы: issledovanie, ispol'zovanie, okhrana: Materialy IV Shkoly-konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunar. uchastiem (26–28 avgusta 2011 g.)*. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2011. P. 180–183.
17. Rodina A. G. *Metody vodnoy mikrobiologii: Prakticheskoe rukovodstvo* [Methods of aqueous microbiology]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 364 p.
18. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [A guide to hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Ed. V. A. Abakumov. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992. 318 p.
19. Slastina Ju. L., Klochkova M. A. Seasonal dynamics of phytoplankton of the lake. Chetyrehverstnogo [Sezonnaya dinamika fitoplanktona oz. Chetyrehverstnogo]. *Materialy IV Shkoly-konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem (26–28 avgusta 2011 g.)*. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2011. P. 121–123.
20. Slastina Ju. L., Komulajnen S. F. Dynamics of phytoplankton biomass in small reservoirs of Petrozavodsk [Dinamika biomassy fitoplanktona v malyykh vodoemakh g. Petrozavodsk]. *Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy vo vnutrennikh vodoemakh i morskikh vodakh*. 2012. P. 226.
21. Slukovskiy Z. I., Medvedev A. S. The content of heavy metals and arsenic in the sediments of lakes and Chetyrehverstnogo Lamba (Petrozavodsk, Republic of Karelia) [Soderzhanie tyazhelykh metallov i mysh'yaka v donnykh otlozheniyakh ozer Chetyrehverstnogo i Lamby (g. Petrozavodsk, Respublika Kareliya)]. *Ekologicheskaya khimiya*. 2015. Vol. 24. № 1. P. 56–62.
22. Tekanova E. V., Makarova E. M., Kalinkina N. M. Assessment of the state of the water tributaries of Lake Onega in the conditions of anthropogenic impact on the microbiological and toxicological indicators [Otsenka sostoyaniya vody pritokov Onezhskogo ozera v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya po mikrobiologicheskim i toksikologicheskim pokazatelyam]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya Limnologiya* [Proceedings of Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences. Limnology Series]. 2015. № 9. P. 44–52.
23. Filatov N. N., Litvinenko A. V., Potahin M. S. Hydrographic features of water bodies [Gidrograficheskie osobennosti vodoemov]. *Ozera Karelii: Spravochnik*. Ed. N. N. Filatov, V. I. Kuhareva. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2013. P. 15–21.
24. Henderson-Sellers B. *Umirayushchie ozera. Prichiny i kontrol' antropogennogo evtrofitsirovaniya* [The dying lakes. Causes and control of anthropogenic eutrophication]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990. 487 p.
25. Hmelevskaya I. A. Microbiological indication of water pollution [Mikrobiologicheskaya indikatsiya zagryazneniya vodnoy sredy]. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki*. 2013. № 3.
26. Hobbie J. E., Daley R. J., Jasper S. The use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Applied and environmental microbiology*. 1977. Vol. 33. № 5. P. 1225–1228.