

УДК 582.272:574.586:(470.2:556.55)

ФИТОПЕРИФИТОН В ВОДОЕМАХ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

С. Ф. Комулайнен

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Исследования фитоперифитона в пяти водоемах, расположенных на территории г. Петрозаводска, включали анализ таксономического состава и экологии. В статье обсуждаются основные принципы формирования фитоперифитона. Анализ видового состава фитоперифитона исследованных водоемов свидетельствует о наличии антропогенного загрязнения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урбанизированные территории, малые водоемы, фитоперифитон, видовой состав, численность, биомасса.

S. F. Komulainen. PHYTOPERIPHYTON IN SOME SMALL WATER BODIES OF THE CITY OF PETROZAVODSK (REPUBLIC OF KARELIA)

The study of phytoperiphyton in five water bodies located in the City of Petrozavodsk included the analysis of their taxonomic composition and ecology. The paper discusses the main principles of phytoperiphyton formation in the water bodies. Differences between the water bodies in the phytoperiphyton structure were revealed. The species composition of phytoperiphyton in the water bodies is indicative of human-induced pollution.

K e y w o r d s: urban areas, small reservoirs, phytoperiphyton, species composition, abundance, biomass.

Введение

Республика Карелия не относится к регионам с высокой плотностью населения. На 1 января 2012 г. в республике на площади 180 тыс. км² проживало ~ 640 тыс. человек, т. е. 3,5 человека на км². В то же время доля городского населения составляла 78,4 % [Демографический ежегодник..., 2012], что характерно для регионов с высокой урбанизацией. Антропогенная трансформация экосистем в результате урбанизации стала повсеместным явлением [Пивоваров, 2001; Seto et al., 2013], а города – принципиально новым и наиболее преобразованным типом ландшафта [Клауснитцер, 1990].

Малые водоемы и водотоки – существенный компонент экосистемы города Петрозаводска. В настоящее время они не используются в хозяйственных целях, но играют важную природоохранную, эстетическую роль и сохраняют свою рекреационную привлекательность. Урбанизация приводит к изменению их гидрологического режима, разрушению и упрощению местообитаний и ухудшению качества воды. В водоемах нарушается структура аборигенной флоры, нативных сообществ и изменяется продуктивность.

Восстановление водоемов и водотоков становится одной из первоочередных задач обустройства городских территорий. Принятие научно обоснованного технического решения возможно только на основе комплексного мониторинга

гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов водных экосистем.

Водоросли – наиболее чувствительный индикатор состояния водных экосистем [Водоросли..., 1989]. Выбор фитоперифитона в качестве объекта исследования обусловлен тем, что прикрепленные сообщества свободны от кратковременного влияния случайных локальных изменений гидрологического и гидрохимического режима и отражают средний фон, преобладающий в данном водоеме [Wetzel, 1979; Komulainen, 2002, 2004].

Альгологические исследования на водоемах и водотоках Республики Карелия проводятся с конца 19 века [Komulainen, 2007], но первые исследования альгофлоры в водоемах города Петрозаводска, которые включали и изучение фитоперифитона, были выполнены только зимой 2010 года [Сластина и др., 2011; Komulainen et al., 2012].

Цель данной работы – выявить основные черты структурной организации фитоперифитона и его функционирования в водоемах, расположенных на территории города Петрозаводска, и получить фоновые данные для последующего их использования при организации экологического мониторинга.

Теоретическая предпосылка нашей работы заключается в том, что структура и сукцессия фитоперифитона определяются не только морфологическими, гидрологическими особенностями водоемов, но и интенсивностью антропогенного воздействия [Wetzel, 1983].

Материалы и методы

Исследования фитоперифитона были выполнены на пяти водоемах г. Петрозаводска. Озера Четырехверстное, Ламба (Сулажгора) и Второе Денное – это водоемы естественного генезиса, связанные своим происхождением с Онежским озером. Располагаясь на озерных террасах, эти реликтовые [Лаврова, 2006] водоемы возникли в углублениях дна приледникового водоема, существовавшего около 15–13 тыс. лет назад на месте Онежского озера [Демидов, 2006]. Вторая группа – это бывшие карьеры, превратившиеся в настоящее время в искусственные водоемы. На первом (т. н. Каменный карьер) ранее добывались кварцито-песчаники [Старцев, Коваленко, 1989], озеро без названия в микрорайоне Соломенное (далее – Ламба (Соломенное)) возникло на месте песчаного карьера.

Исследованные озера имеют небольшие размеры, максимальное расстояние между ними не превышает 13 км. Однако водоемы отличаются по основным морфометрическим и гид-

рологическим характеристикам [Старцев, Коваленко, 1989; Крутских, Кричевцова, 2011; Потахин, 2011]. Для них отмечен широкий диапазон величины рН, цветности, минерализации и трофности (табл. 1, 2).

Таблица 1. Координаты и морфометрические показатели водоемов

Параметры						
	1	2	3	4	5	
Координаты	СШ	61°77'	61°81'	61°75'	61°74'	61°85'
	ВД	34°42'	34°25'	34°44'	34°27'	34°31'
Высота над уровнем моря, м	55	102	110	165	35	
Длина озера, км	0,58	0,24	0,6	0,26	0,20	
Площадь зеркала озера, км ²	0,14	0,01	0,12	1,7	1,5	
Макс. ширина, км	0,34	0,07	0,23	0,07	0,09	
Макс. глубина, м	13,0	5,2	4,6	3,0	1,5	

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3, 5, 6: 1 – оз. Каменный карьер, 2 – оз. Ламба (Сулажгора), 3 – оз. Четырехверстное, 4 – Ламба (Соломенное), 5 – оз. Второе Денное

Таблица 2. Гидрологические и химические характеристики водоемов (16.08.2012)

Водоемы	1	2	3	4	5
Прозрачность, м	3,5	1,5	0,5	0,5	0,2
рН	8,35	7,05	7,46	8,28	5,85
Цветность, Pt	7	82	35	1600	150
Электропроводность, мкСм см ⁻¹	203	74	104	56	3
P _{общ.} , мкг л ⁻¹	10	68	46	1890	30
N _{общ.} , мкг л ⁻¹	1,08	1,08	0,6	5,27	0,94

Пробы перифитона отбирались один раз в месяц. Камеральная обработка и анализ собранного материала проводились по общепринятым в гидробиологии методам [Комулайнен, 2003; Баринаова и др., 2006].

Кластерный анализ выполнен на основе данных об относительной численности видов в августе 2013 года. Группирование рек проводилось при помощи алгоритма Евклидовой дистанции с использованием метода полной связи (Complete linkage, пакет программ Statistica).

Результаты, полученные в августе 2013 г., применялись и при сравнительном анализе экологической структуры фитоперифитона водоемов.

Концентрацию тяжелых металлов в тканях водорослей определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800 (Shimadzu) [Suomen standardisoimisliitto..., 1990].

Результаты и обсуждение

Всего в фитоперифитоне пяти исследованных водоемов выявлен 81 таксон водорослей рангом ниже рода, относящихся к 53 родам, 36 семействам и 5 отделам: Euglenophyta – 1, Cyanophyta – 12, Dinophyta – 1, Bacillariophyta – 50, Chlorophyta – 17 (табл. 3).

Таблица 3. Видовой состав фитоперифитона водоемов города Петрозаводска

Таксоны	Водоемы				
	1	2	3	4	5
Cyanophyta					
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.	+	+			
<i>Woronichinia naegeliana</i> (Ung.) Elenk.				+	NB
<i>Gloeocapsa limnetica</i> (Lemm.) Hollerb.		+			
<i>Stigonema mamillosum</i> (Lyngb.) Ag.			+		
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn.			+	+	
<i>Tolypothrix limbata</i> Thur.		+			
<i>T. tenuis</i> Kütz.	+				
<i>Calothrix parietina</i> (Näg.) Thur.			+		
<i>Oscillatoria aghardii</i> Gom.	+				
<i>O. limosa</i> Ag.	+		+		
<i>O. ornata</i> (Kütz.) Gom.	+				
<i>Phormidium ambiguum</i> Gom.	+		+		
Dinophyta					
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.M.) Bergh.		+			
Bacillariophyta					
<i>Stephanodiscus astraea</i> (Ehr.) Grun.	+				
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Kütz.			+		
<i>A. islandica</i> (O. Müll) Simonsen..			N		
<i>A. italica</i> (Kütz.) Simonsen.		+	+		
<i>Melosira varians</i> Ag.	+	NB	+		NB
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.	+	N	N		
<i>T. flocculosa</i> (Roth.) Kütz.	+	NB	NB	NB	NB
<i>Asterionella formosa</i> Hass	+		+		
<i>Tetracyclus lacustris</i> Halts.			+		
<i>Diatoma elongatum</i> (Lyngb.) Ag.	N		N		+
<i>Meridion circulare</i> Ag.		+	+	+	
<i>Ceratoneis arcus</i> (Ehr) Kütz.				+	
<i>Fragilaria bicapitata</i> A. Mayer			+		
<i>F. capucina</i> Desm.		+	N		
<i>F. crotonensis</i> Kitt.	+		N		
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	+	+	N	+	+
<i>Eunotia lunaris</i> (Ehr.) Grun.		+	+		
<i>E. pectinalis</i> Kütz.	+	NB	N	NB	
<i>E. praeurpta</i> Ehr.			+		
<i>E. robusta</i> Ralfs.				N	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	NB	+	NB		
<i>Achnanthes minutissima</i> Kütz.	N		N		
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) D. T.	+	+	N	N	+
<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	+	+	+		
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.			+	+	
<i>Neidium binodis</i> (Ehr.) Hust.	+				
<i>Pinnularia interrupta</i> W. Sm.		+	+		
<i>P. major</i> (Kütz.) Cl.		+	+		
<i>P. mesolepta</i> (Her.) W. Sm.	+	+			
<i>P. viridis</i> (Nitzsch.) Ehr.	+	+			
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabench.				+	
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	+				
<i>Cymbella aspera</i> (Ehr.) Cleve					+
<i>C. hebridica</i> (Greg.) Grun.			+		
<i>C. helvetica</i> Kütz.	+		+		
<i>C. pusilla</i> Grun.	+				
<i>C. ventricosa</i> Kütz.	+	+	+	+	
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Sc.					+
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehr.	+	+			
<i>G. acuminatum</i> var. <i>coronatum</i> (Ehr.) W. Sm.			+		
<i>G. constrictum</i> Ehr.	+	+	N		
<i>G. longiceps</i> Ehr.			+		+
<i>G. parvulum</i> (Kütz.) Grun.	+	N	N	N	
<i>Epithemia sorex</i> Kütz.	NB		N		
<i>E. zebra</i> (Ehr.) Kütz.	NB	NB	+		+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müll.	NB	+	N		
<i>Nitzschia brevissima</i> Grun.			+		
<i>N. linearis</i> W. Sm.			+		
<i>Surirella linearis</i> W. Sm.		+	+		
<i>S. tenera</i> Greg.		+	+		

Таксоны	Водоёмы				
	1	2	3	4	5
Chlorophyta					
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood.				+	
<i>Characium acuminatum</i> A. Br.				+	
<i>Oocystis lacustris</i> Chod.			+		
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Br.) Hansg.			+		
<i>Pediastrum angulosum</i> Menegh.	+		+		
<i>P. boryanum</i> Turp. (Menegh.)			+		
<i>Microspora amoena</i> (Kütz.) Rabenh.				+	
<i>Ulothrix subtilissima</i> Rabenh.		N			+
<i>Oedogonium</i> sp.	+	B	+		+
<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kütz.	NB		NB		
<i>Spirogyra</i> sp.	NB		B		
<i>Zygnema</i> sp.	NB				
<i>Mougeotia</i> sp.	NB	B	B		
<i>Cosmarium brebissonii</i> Menegh.		+			
<i>C. margaritifera</i> Menegh.		+			
<i>C. pachydermum</i> Lund.		+			
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemm.		+			
Euglenophyta					
<i>Trachelomonas volvocina</i> Drez.		+	+		
Всего видов	38	36	52	16	12

Примечание. N – виды, доминирующие по численности, B – по биомассе.

Видовое богатство фитоперифитона определяют пеннатные диатомеи порядков Araphales и Raphales (55,6 % определенных видов). Среди них доминировали и были наиболее постоянными евперифитонные виды родов *Tabellaria*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Achnanthes* и *Epithemia* – комплекс видов, определяющий структуру водорослевых обрастаний [Комулайнен, 2004; Комулайнен и др., 2006; Komulaunen, 2008] в водоемах Восточной Фенноскандии.

Среди зеленых водорослей ведущими ценозообразователями были *Oedogonium* sp., *Zygnema* sp., *Spirogyra* sp. и *Mougeotia* sp. – виды, определяющие биомассу фитоперифитона в водотоках и водоемах Карелии [Komulaunen, 2009] и *Cladophora glomerata*, вид более типичный для «южного типа» альгофлоры [Чернов, 1949].

Из 12 определенных видов синезеленых водорослей только *Woronichinia naegeliana*, вызывающая цветение в водоемах Северо-Запада России [Белякова и др. 2006], отнесена нами к доминантам.

Отмечено характерное для северных флор преобладание числа семейств и родов с одним таксоном [Комулайнен, 2004] (табл. 4).

Таблица 4. Состав семейств (Fm) и родов (Gn) по числу содержащихся в них видов и внутривидовых таксонов (Spp)

Spp/Gn (Fm)	Gn	Fm	Gn	Fm
видов	число		%	
1	31	13	66,0	56,5
2-3	12	4	25,5	17,4
>4	4	6	8,5	26,1
Всего	47	23	100	100

Большая часть видов (48,5 %) – евперифитонные формы. Они формируют структуру группировок фитоперифитона во всех исследованных водоемах, составляя от 42 до 97 % от числа встречаемых видов и от 48 до 75 % от суммарной численности (табл. 5).

Таблица 5. Экологические спектры для фитоперифитона водоемов г. Петрозаводска

Экология	Водоёмы				
	1	2	3	4	5
	Количество видов, %				
евперифитонные	60,5	41,7	50,0	50,00	69,2
донные	15,8	22,2	19,2	18,80	15,4
планктонные	23,7	36,1	30,8	31,30	8,3
аркто-альпийские	3,1	7,1	8,6	37,50	40,0
бореальные	37,5	35,7	45,7	37,50	10,0
космополиты	59,4	57,1	45,7	25,00	50,0
алкалофильные	37,5	21,4	13,0	27,30	30,0
ацидофильные	9,4	21,4	17,4	36,40	30,0
индифференты	53,1	57,2	69,6	36,40	40,0
галофилы	18,8	3,6	10,9	0,00	20,0
галофобы	9,4	25,0	19,6	36,40	30,0
индифференты	71,9	71,4	69,6	63,60	50,0

Кроме евперифитонных форм в группировках постоянно присутствуют планктонные (37,9 %) и донные водоросли (19,1 %). Среди диатомовых планктонные виды составляют 32 %; в основном это представители рода *Aulacoseira* и некоторые виды семейств *Fragilariaceae* и *Tabellariaceae*. Большинство из центральных диатомей встречались в обрастаниях единично, а в доминирующий комплекс входили лишь *Aulacoseira islandica* и *Melosira varians*. Более заметна роль планктонных пеннатных диатомей: *Fragilaria capucina*, *F. crotonensis*, *Asterionella*

formosa и *Tabellaria fenestrata*. Все бентосные формы – диатомовые водоросли. В пробах определено 15 таксонов, относящихся главным образом к семейству *Naviculaceae* (9). Они не достигают высокого обилия, и только *Frustulia saxonica* отнесена нами к доминантам.

Положение на шкале галобности известно для 64 видов. Среди них преобладают индифференты – 71 % от общего числа определенных видов. Из 9 галофилов в альгоценозах постоянны лишь *Melosira varians*, *Diatoma elongatum*, *Fragilaria crotonensis* и *Epithemia sorex*. Массовыми галофобными видами, предпочитающими очень низкую минерализацию (до 0,02 г/л), являются *Tabellaria fenestrata* и *T. flocculosa*. Именно благодаря их доминированию относительное обилие галофобных видов в перифитоне озер Ламба (Соломенное), Ламба (Сулажгора) и Второе Денное превышает 25 %.

Среди индикаторов pH в перифитоне также преобладают индифференты — 64 % видов. Алкалофилы и ацидофилы составляют соответственно 14 и 22 %. Разнообразие и обилие алкалофилов увеличивается в озерах Каменный карьер и Четырехверстное с более низкой цветностью и с более высокой минерализацией. Из ацидофилов доминантами альгоценозов обрастающих являются *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Eunotia pectinalis* и *Frustulia saxonica*.

Структура фитоперифитона в исследованных водоемах сформирована относительно небольшим количеством видов. Подавляющее большинство определенных видов – единичные формы с низкими показателями численности. 24,7 % водорослей зарегистрированы только на одной и 22,8 % – на двух станциях. Главным образом это бентосные и планктонные виды. К видам, доминирующим по численности в разные сезоны на 22 станциях в пяти водоемах, отнесено 25, а по биомассе – 12 видов (см. табл. 3).

Однако реально структуру фитоперифитона определяют 11 видов (*Woronichinia naegeliana*, *Melosira varians*, *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Cocconeis placentula*, *Eunotia pectinalis*, *E. robusta*, *Epithemia zebra*, *Frustulia saxonica*, *Gomphonema parvulum*, *Woronichinia naegeliana*), доминирующих по численности, и 7 видов (*Melosira varians*, *Tabellaria flocculosa*, *Cocconeis placentula*, *Epithemia zebra*, *Eunotia pectinalis*, *Oedogonium sp.*, *Cladophora glomerata*), формирующих биомассу фитоперифитона в отдельных водоемах (табл. 6).

Диапазон варьирования количественных показателей фитоперифитона исследованных водоемов в конце биологического лета (август) достигал нескольких порядков (см. табл. 6).

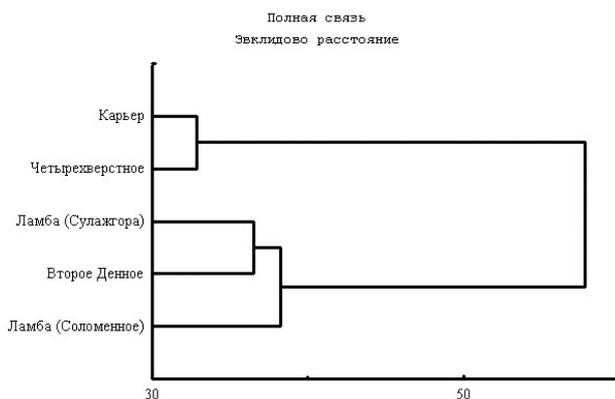
Численность изменяется от $1,31 \times 10^3$ до 1600×10^3 кл см⁻², а биомасса – от 0,01 до $11,3 \times 10$ мкг см⁻² субстрата. Такие значения характерны для фитоперифитона литеральной зоны озер Европейского Севера России [Рычкова, 1975, 1986, 1987].

Таблица 6. Структура фитоперифитона водоемов г. Петрозаводска

Водоемы	Численность		Биомасса	
	Доминирующие виды	×10 ³ кл. см ⁻² мин.–макс. (среднее)	Доминирующие виды	×10 мкг см ⁻² мин.–макс. (среднее)
1	<i>Cocconeis placentula</i> <i>Epithemia zebra</i>	<u>1,3–222,2</u> (70,7)	<i>Cladophora glomerata</i> <i>Epithemia zebra</i>	<u>1,2–4,8</u> (2,71)
2	<i>Melosira varians</i> <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>T. flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i> <i>Epithemia zebra</i>	<u>2,1–55,2</u> (23,8)	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i>	<u>0,1–1,2</u> (0,48)
3	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Eunotia pectinalis</i>	<u>10,2–1600,1</u> (248,4)	<i>Cocconeis placentula</i> <i>Cladophora glomerata</i>	<u>0,12–11,3</u> (2,38)
4	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i> <i>E. robusta</i> <i>Frustulia saxonica</i> <i>Gomphonema parvulum</i>	<u>68,0–100,8</u> (82,7)	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i>	<u>0,01–0,2</u> (0,11)
5	<i>Woronichinia naegeliana</i> <i>Melosira varians</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>	<u>7,0–24,0</u> (12,8)	<i>Oedogonium sp.</i> <i>Melosira varians</i>	<u>0,01–0,1</u> (0,51)

Кластерный анализ (рис. 1) выявил две группы водоемов. В первую входят оз. Второе Денное и две Ламбы, расположенные в микрорайонах Соломенное и Сулажгора. Для этих водоемов характерна высокая цветность и низкая прозрачность (табл. 2). Это определяет низкое видовое богатство и низкую плотность фитоперифитона. В водоемах отмечено доминирование водорослей рода *Eunotia* – типичных ацидофилов, постоянных для альгофлоры болот и так называемых «черных ламб» [Чернов, 1950]. В фитоперифитоне озера Ламба (Сулажгора) на немногочисленных макрофитах встречено 29 видов синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей. Причем на долю двух ацидофильных,

галофобных диатомовых водорослей *Tabellaria flocculosa* и *Eunotia pectinalis*, типичных для альгофлоры болот и озер с низкими значениями pH, приходится 42 %. Сходная картина наблюдается в перифитоне озера, расположенного в микрорайоне Соломенное. Здесь при низких значениях численности и биомассы определено всего 15 видов и отсутствуют явные доминанты. Своеобразие фитоперифитона Второго Денного озера – доминирование планктонных видов *Melosira varians* и *Woronichinia naegeliania*.



Дендрограмма сходства структуры фитоперифитона

Второй кластер включает озера Четырехверстное и Каменный карьер. Фитоперифитон здесь более разнообразен, отмечены высокие количественные характеристики. Видовое богатство в озере Четырехверстном в августе формировали диатомовые водоросли (71,4 %). Среди них по численности доминируют типичные прикрепленные формы (*Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula* и *Achnanthes minutissima*), а также виды, которые успешно обитают не только в обрастаниях, но и в литоральном планктоне (*Melosira varians* и *Fragilaria capucina*). Максимальная численность (1600 кл см⁻²) отмечена при доминировании *Cocconeis placentula*, а максимальная биомасса (2,9 мкг см⁻²) – при доминировании *Cladophora glomerata*. В перифитоне озера Каменный карьер при доминировании диатомей отмечено заметное снижение роли ацидофильных и галофобных видов. Зеленые и синезеленые водоросли менее разнообразны и объединяют 6 видов, или 16,2 % всей альгофлоры перифитона озера. Однако именно зеленые нитчатые водоросли, среди которых также доминирует *Cladophora glomerata*, при оптимальной освещенности формировали биомассу фитоперифитона, которая достигала максимального (5,0 мкг см⁻²) значения.

Все пять исследованных водоемов расположены в черте города и, несомненно, подвергаются загрязнению промышленными и бытовыми стоками. Поэтому состав, распределение и структура фитоперифитона в водоемах города определяются не только их морфологическими, гидрологическими особенностями, но также характером и интенсивностью антропогенного воздействия. В первую очередь это относится к водоемам искусственного происхождения (см. табл. 5), а также к озеру Четырехверстному, которое долгое время использовалось для водоснабжения фабрики валяной обуви. Здесь наблюдается увеличение разнообразия галофильных и донных видов. Тенденция антропогенной трансформации альгофлоры включала также ее бореализацию и космополитизацию за счет снижения роли арктоальпийских видов [Гецен, 1985]. Аналогичные изменения мы наблюдали в других водоемах региона при увеличении антропогенной нагрузки [Комулайнен, 2005; Комулайнен и др., 2007].

Анализ сапробиологической структуры фитоперифитона показал, что наиболее разнообразно в исследованных водоемах представлены о-β-мезосапробы и -β-мезосапробы – 67,17 % от общего числа видов-индикаторов. Однако основу доминирующего комплекса на многих станциях составляют χ-, χ- олиго и олигосапробные виды, типичные для высокогумифицированных водоемов. Поэтому неудивительно, что значения индекса Сладечека изменяются от 0,29 до 1,99, а трофического диатомового индекса (TDI) – от 1,13 до 3,06. Наиболее высокие индексы отмечены в покрытой макрофитами литорали озер Четырехверстное и Каменный карьер. Это позволяет отнести воду исследованных водоемов к олигосапробной зоне (условно чистая вода). Хотя по ряду показателей (например, цветность) вода не соответствует ГОСТу для питьевой воды.

Характерным для водоемов импактных зон является также увеличение концентрации тяжелых металлов в тканях водорослей. Среди исследованных озер наиболее заметное увеличение концентрации меди отмечено в Каменном карьере и сулажгорской Ламбе, цинка – в озере Четырехверстном и Каменном карьере, кадмия – в озере Четырехверстном, а свинца – в Каменном карьере (табл. 7). Однако эти увеличения также не следует считать «экстремальными», они не достигают значений, отмеченных нами ранее для рек Мурманской области, подверженных интенсивному антропогенному воздействию [Комулайнен, Морозов, 2007, 2010; Komulaunen, Morozov, 2007, 2010].

Таблица 7. Средние значения концентрации тяжелых металлов в водорослях перифитона водоемов г. Петрозаводска, Прионежья и Мурманской области

Водоем	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
Четырехверстное	1,88	6,62	19,0	88,2	8,87
Каменный карьер	0,29	67,4	33,9	83,4	12,5
Ламба (Сулажгора)	0,18	6,71	25,3	63,4	8,23
Водоемы Прионежья	1,01	12,82	16,54	69,74	17,21
Водоемы Мурманской области	3,9	42,9	309,3	60,4	404,3

Литература

Антипина Г. С., Комулайнен С. Ф. Водоросли / Ред. Г. С. Антипина. Растения и лишайники города Петрозаводска (аннотированные списки видов): учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 2010. С. 13–43.

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Белякова Р. Н., Волошко Л. Н., Гаврилова О. В., Гогорев Р. М., Макарова И. В., Околюков Ю. Б., Рундина Л. А., Виноградова К. Л. (ред.) Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 367 с.

Водоросли: Справочник / Ред. С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, М. П. Масюк. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.

Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера / Ред. М. М. Голлербах. Л.: Наука, 1985. 165 с.

Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в послеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2006. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, С. 171–182.

Демографический ежегодник России. Статистический сборник. М., Росстат, 2012. 535 с.

Клауснитцер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990. 246 с.

Комулайнен С. Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 43 с.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Республики Карелия // Ботанический журн., 2004. Т. 89, № 3. С. 18–35.

Комулайнен С. Ф. Изменение структуры фитоперифитона рек при увеличении антропогенной нагрузки // Наук. записки Тернопіл. націон. педагогічного ун-ту. Серія: Біологія. Спеціальний випуск «Гідроекологія». 2005. Т. 26, № 3. С. 218–219.

Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Барышев И. А. Формирование гидробиоценозов реки Сяпса (бассейн Онежского озера) в условиях воздействия стоков форелевой фермы // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2007. № 2. С. 21–23.

Комулайнен С. Ф., Морозов А. В. Изменение структуры фитоперифитона в малых реках урбанизированных территорий // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 3. С. 346–353.

Комулайнен С. Ф., Морозов А. К. Динамика тяжелых металлов в фитоперифитоне малых рек Кольского полуострова // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 752–756.

Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 81 с.

Крутских Н. В., Кричевцова М. В. Эколого-геохимическая оценка состояния донных отложений оз. Четырехверстного // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана: материалы IV Школы-конференции молодых ученых с международным участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 59–64.

Лаврова Н. Б. Некоторые особенности состава спорово-пыльцевых спектров позднеледниковых отложений Олонецкого плато // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. Вып. 9. С. 183–188.

Ливоваров Ю. Л. Урбанизация в России в XX веке. Представления и реальность // Общественные науки и современность. 2001. № 6. С. 101–113.

Потахин М. С. Морфологические особенности водоемов г. Петрозаводска // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана: материалы IV Школы-конференции молодых ученых с международным участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 180–183.

Рычкова М. А. Перифитон литоральной зоны Онежского озера / Ред. И. М. Распопов. Литоральная зона Онежского озера. Л.: Наука, 1975. С. 123–137.

Рычкова М. А. Водоросли обрастания озера Ильмень // Гидробиологический журн. Т. 22, № 5. 1986. С. 24–26.

Рычкова М. А. Перифитон и его продуктивность / Ред. И. М. Распопов. Современное состояние экосистемы Ладожского озера Л.: Наука, 1987. С. 116–118.

Сластина Ю. Л., Комулайнен С. Ф., Потахин М. С., Клочкова М. А. Структура криофитона в озерах города Петрозаводска // Труды КарНЦ РАН. № 4. 2011. С. 138–141.

Старцев Н. С., Коваленко В. Н. Режим искусственного водоема в Петрозаводске / Исследование водных ресурсов Карелии. Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1989. С. 37–41.

Чернов В. К. О географическом распространении водорослей в пресных водоемах Карело-Финской ССР и районирование республики по водорослевой растительности ее водоемов / Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Секции биол., хим. и физ.-мат. наук. 1949. Вып. 2. С. 77–80.

Чернов В. К. Водорослевые фитоценозы некоторых озер Карелии / Уч. зап. ЛГУ. Серия биол. наук. 1950. Вып. 29, № 142. С. 208–222.

Komulainen S. Use of periphyton for monitoring in rivers in Northwest Russia // J. of Applied Phycology. 2002. N 14. P. 57–62.

Komulainen S. Experience of using phytoplankton monitoring in urban watercourses // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2004. Vol. 33, N 1. P. 65–75.

Komulaynen S. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia // *International J. on Algae*. 2007. Vol. 9, N 2. P. 139–149.

Komulaynen S. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the Northwestern Russia // *Biology*. 2008. Vol. 63, N 6. P. 859–865.

Komulaynen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia // *Studi Trentini di scienze naturali*. 2009. N 84. P. 153–160.

Komulaynen S., Morozov A. Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia // *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 2007. Vol. 161, N 3-4. P. 435–442.

Komulaynen S., Morozov A. Heavy metal dynamics in the periphyton in small rivers of Kola peninsula // *Water Resources*. 2010. Vol. 37, N 6. P. 874–878.

Komulaynen S., Slastina J., Klochkova M. Winter algae communities in the lakes and rivers ecosystems (Karelia, Russia) / K. Wolowski, I. Kaczmarek, J. Ehrman,

A. Wojtal (eds). *Current advances in algal taxonomy and its applications: phylogenetic, ecological and applied perspective*. Krakow. Poland. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. 2012. P. 243–251.

Seto K. C., Parnell S., Elmqvist T. Outlook on Urbanization / T. Elmqvist (ed.). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services. Challenges and Opportunities*. Springer. 2013. P. 1–12.

Suomen Standardisoimisliitto Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Suomen Standardisoimisliitto, 1990, Helsinki.

Wetzel R. G. Periphyton measurements and applications / R. G. Wetzel (ed.). *Methods and measurements of periphyton communities: A review*. 1979. American Society for Testing and Materials, Philadelphia Pa. 183 p.

Wetzel R. G. Periphyton of freshwater ecosystems. *Developments in Hydrobiology* 17. 1983. Dr. W. Jung BV Publishers, The Hague, The Netherlands. 767 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Комулайнен Сергей Федорович

ведущий научный сотрудник, д. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: Komsf@mail.ru
тел.: (8142) 769810

Komulainen, Sergey

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Komsf@mail.ru
tel.: (8142) 769810