



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

№ 3 (37). Сентябрь, 2020

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

**Редакционная
коллегия**

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugolek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: ecopri@petsu.ru

<https://ecopri.ru>





УДК 574.1: 574.22: 574.583

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА И РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВЕЛИКОЙ (ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

ДРОЗДЕНКО
Татьяна
Викторовна

*к. б. н., Псковский государственный университет (г. Псков,
ул. Советская, д. 21), tboichuk@mail.ru*

МИХАЛАП
Сергей
Геннадьевич

*Псковский государственный университет (г. Псков, ул.
Советская, д. 21), sgmikhailap@gmail.com*

БУГЕРО
Нина
Владимировна

*д. б. н., Псковский государственный университет (г.
Псков, ул. Советская, д. 21), bugero@mail.ru*

Ключевые

слова:

биоразнообразие,
фитопланктон,
сообщества,
индексы
биоразнообразия,
дельта реки
Великой,
Псковская
область

Рецензент:

Е. Л. Воденеева

Получена:

14 мая 2018 года

Подписана к

печати:

30 сентября 2020
года

Аннотация. В статье рассматривается видовая структура и временная динамика некоторых показателей альфа- и бета-разнообразия фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область, Россия) в летний период 2016–2017 гг. Микроводоросли являются важными компонентами водных экосистем, поскольку формируют значительную часть первичной продукции. Они первыми реагируют на любые перестройки в экосистемах, поэтому, кроме ценотического, имеют важнейшее мониторинговое значение. Цель работы состояла в изучении видовой структуры и некоторых параметров разнообразия фитопланктона дельты реки Великой на пяти заданных станциях. Дельта реки Великой представляет собой уникальный природный комплекс, где основное русло реки распадается на несколько рукавов, разделенных низкими, заросшими макрофитами островами. Благодаря особенностям гидрологического и климатического режимов в дельте создаются уникальные условия среды, что отражается на структуре и видовом богатстве населяющих ее фитопланктонных сообществ. В ходе исследований выяснено, что на всех станциях отбора проб на протяжении 2016–2017 гг. доминировал хлорофитово-диатомовый комплекс микроводорослей. При сравнении видового состава микроводорослей 2016–2017 гг. с данными 1990–2000 гг. выявлено значительное увеличение общего видового богатства, что может быть связано как с изменением условий существования экосистемы дельты, так и с методологией получения данных. Средние численность и биомасса микроводорослей в 2016 г. составляли 1.6 млн кл./л и 0.94 мг/л соответственно, в 2017 г. – 460.1 тыс. кл./л и 0.16 мг/л соответственно. Количественные показатели фитопланктона в 2016 г. были значительно выше, чем в 2017 г., что связано с температурными условиями и колебанием уровня воды в дельте. Значения обобщенных индексов альфа-разнообразия в отдельно рассмотренных отделах имели существенные отличия. Полученные данные свидетельствуют о наличии ежегодных перестроек в сообществах микроводорослей, причем внутри отдельно взятых отделов они выражены сильнее.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

В функционировании экосистем Земли особое место принадлежит водным экосистемам, поскольку они отличаются наиболее высокой скоростью обновления живого вещества и, благодаря широкому распространению и высокой биопродуктивности, играют важную роль в биосферных процессах. Водные экосистемы способны быстро поглощать и перерабатывать биогенные вещества, способствовать естественному самоочищению и создавать условия для проживания огромного числа организмов (Schindler, 1998; Millenium..., 2005).

Самой большой и многоводной рекой в Псковской области является река Великая, которая впадает в южную часть Чудско-Псковского озера, образуя обширную дельту.

Дельта реки Великой – это экотонная акватория между речной и озерной экосистемами, в которой наблюдается взаимодействие и трансформация различных по свойствам водных масс. Дельта уникальна тем, что в ней сосредоточены нерестилища многих видов рыб, а система заболоченных островов служит местом гнездования птиц. Большая часть дельты входит в состав заказника «Псковско-Чудская приозерная низменность» (Лебедева, 2006).

Комплексный мониторинг в дельте р. Великой начал осуществляться с 1990 г. сотрудниками естественно-географического факультета Псковского педагогического института и продолжался до начала 2000-х гг. (Судницына, 2012). За десятилетний период было идентифицировано 97 видовых и внутривидовых таксонов водорослей из 7 отделов. Основу фитопланктона составляли диатомовые и зеленые водоросли, что характерно для равнинных рек (Экологический мониторинг..., 2003). Исследования фитопланктона в дельте возобновились в 2015 г. и продолжаются по настоящее время (Дрозденко, Михалап, 2015; Drozdenko et al., 2017; Дрозденко, Михалап, 2018; Drozdenko et al., 2019).

Одним из важнейших показателей стабильности экосистемы является биологическое разнообразие, обуславливающее ее большую пластичность и устойчивость по отношению к колебаниям факторов среды (Одум, 1986; Naeem, Li, 1997; Millenium..., 2005; Ives, Carpenter, 2007; Gamfeldt et al., 2008; Benton, 2016).

Существует ряд подходов по оценке биоразнообразия: от простого подсчета количества видов до анализа структуры и функциональной размерности экологического пространства (Уиттекер, 1980; Chao et al., 2005; Шитиков и др., 2011; Byrnes et al., 2014; Ricotta et al., 2014; Nguyen et al., 2017). Особой популярностью пользуются индексы биоразнообразия, которые отличаются относительной простотой расчета и универсальностью.

Фитопланктон является одним из важнейших компонентов водных сообществ, формирующих первичную биологическую продукцию. Именно планктонные водоросли первыми реагируют на начальные изменения в водной экосистеме перестройкой своих структурно-энергетических составляющих. Это делает их ключевыми объектами для изучения энергетического баланса водных экосистем, их естественного самовосстановления и индикации качества вод (Экологический мониторинг..., 2003; Шитиков и др., 2011; Соловьева, Корнеева, 2012; Liu et al., 2015).

В настоящее время увеличиваются темпы хозяйственного освоения региона. В связи с этим возникает необходимость проведения наблюдений за состоянием биоразнообразия водной среды. Приоритетное значение отводится исследованиям состояния фитопланктона как первичного звена трофической цепи, во многом определяющего структуру и функционирование водной экосистемы в целом (Попова и др., 1997; Габышев, Габышева, 2018).

Цель данной работы состояла в изучении видовой структуры и некоторых параметров разнообразия фитопланктона дельты р. Великой в летний период 2016–2017 гг.

Материалы

В качестве модельной экосистемы использовалась дельта р. Великой, расположенная в 8 км к северо-западу от г. Пскова. По форме дельта близка к треугольнику, длина которого по медиане составляет 4.2 км, ширина около 4 км, а общая площадь 2.7 км². Дельта представлена комплексом низких, заболоченных островов, разделенных протоками. Пограничное положение дельты р. Великой обуславливает некоторые особенности ее климатического режима. Рассматриваемый участок характеризуется более мягкой и короткой зимой и более длительным и солнечным летом, что оказывает положительное влияние на вегетацию растительности (Экологический мониторинг..., 2003). Общая минерализация нижнего течения р. Великой составляет 250.8–333 мг/л. Вода дельты относится к гидрокарбонатному классу группы кальция (Алёкин, 1970) и отличается повышенной цветностью, обусловленной растворенными в ней органическими веществами, поступающими из заболоченных участков. Значения рН колеблются от нейтральных до слабощелочных, БПК₅ варьирует в пределах 1.6–2.45 мг O₂/л (Афоница, 2014).

Работы проводились в летний период 2016–2017 гг. на 5 заданных станциях: «Вайменка», «Большая Листовка», «Средняя», «Горки» и «Муравицы» (рис. 1). Всего отобрано 20 проб фитопланктона.

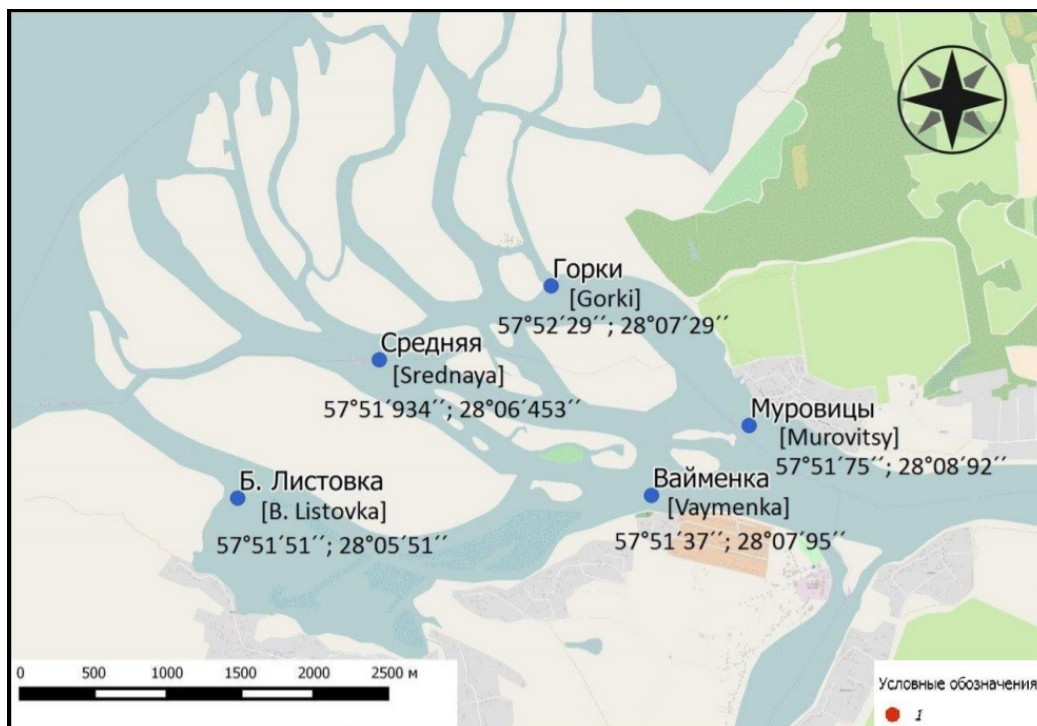


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб в дельте реки Великой (2016–2017 гг.). 1 – станции отбора проб

Fig. 1. Map of the location of sampling station in the Velikaya River delta (2016–2017). 1 – sampling stations

Температура воды в июле 2016 г. была в диапазоне 21.0–22.2⁰С (21.7 ± 0.2⁰С), а в июле 2017 г. варьировала от 18.5 до 19.0⁰С (18.8 ± 0.1⁰С). Значения pH воды изменялись в 2016 г. от 7.80 до 7.90 (7.82 ± 0.02), в 2017 г. – от 7.54 до 7.70 (7.60 ± 0.03).

Методы

Для отбора качественных проб фитопланктона использовалась планктонная сеть Джели с газом №76. Отбор количественных проб проводился пластиковыми пробоотборниками объемом 0.5 л с глубины 0.5 м с последующей фиксацией раствором Люголя и дофиксацией 40 % раствором формалина. Пробы концентрировались осадочным методом и обрабатывались в экологической лаборатории Псковского государственного университета. Микроводоросли определялись с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Lab. A1. с использованием камеры Нажотта (0.05 мл) и определителей (Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962; Забелина и др., 1951; Матвиенко, 1954; Царенко, 1990; Флора..., 2009; Komarek, 1998, 2005). Названия видовых таксонов даны в соответствии с системой международного сайта AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2020).

Численность клеток фитопланктона на 1 л пересчитывалась по общеизвестной формуле (Садчиков, 2003). Биомасса рассчитывалась общепринятым способом по объемам водорослей, определенных методом геометрического подобия для каждой пробы (Гусева, 1959).

Анализ сходства таксономического состава водорослей разных лет исследования (бета-разнообразие) проводился с использованием индекса Сьеренсена – Чекановского (Шмидт, 1980). Для изучения параметров альфа-разнообразия сообществ рассчитывались индексы разнообразия Шеннона, доминирования Симпсона, Маргалефа и выравнимости Пиелу (табл. 1).

Таблица 1. Основные индексы для количественной оценки параметров биоразнообразия

Название индекса	Расчетная формула	Уровень разнообразия
Индекс видового богатства Маргалефа	$d = \frac{S - 1}{\ln N}$	Альфа-разнообразие
Индекс видового разнообразия Шеннона	$H = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$	Альфа-разнообразие
Индекс доминирования Симпсона	$H = \sum_{i=1}^s p_i^2$	Альфа-разнообразие
Индекс выравненности Пиелу	$E = \frac{H}{\ln S}$	Альфа-разнообразие
Индекс Съеренсена - Чекановского	$I_{CS} = \frac{2c}{a + b}$	Бета-разнообразие

Примечание. S – видовое богатство (число видов); N – объем выборки (численность сообщества); n_i – число особей i -го вида; c – число видов, общих для двух сообществ; a – число видов в первом сообществе; b – число видов во втором сообществе.

Индекс Маргалефа отражает видовое богатство на определенной территории. Чем выше значение индекса, тем большим видовым богатством характеризуется сообщество. Для расчета индекса используется абсолютная величина – численность, что делает его чрезвычайно чувствительным к объему выборки. Индекс Шеннона характеризует разнообразие и выравненность в структуре сообщества. Индекс Симпсона показывает степень выраженности доминирования определенных видов в структуре сообщества. Индекс выравненности Пиелу отражает степень равнопредставленности видов в сообществе (Пузнецките, Марушкина, 2005; Шитиков и др., 2011).

Результаты

Всего за период исследований идентифицировано 199 видовых и внутривидовых таксонов (ВВТ) микроводорослей рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам (табл. 2). В 2016 г. встречено на 23 % больше ВВТ фитопланктона, чем в 2017 г. Однако флористический комплекс в рассмотренные годы оставался неизменным – диатомово-хлорофитовым. Среди диатомовых водорослей наиболее разнообразно в видовом отношении представлены семейства Naviculaceae Kützing и Fragilariaceae Kützing, среди зеленых – Scenedesmaceae Oltmanns и Selenastraceae Blackman & Tansley. В 2016 г. на третьем месте по видовому богатству находились цианобактерии, а в 2017 г. – золотистые водоросли.

На остальные отделы приходился меньший процент ВВТ фитопланктона. Стоит отметить, что в июле 2017 г. не обнаружено представителей отдела Xanthophyta.

Таблица 2. Таксономический состав фитопланктона дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Отделы	Число видовых и внутривидовых таксонов фитопланктона				% от общего числа видов 2016 + 2017 гг.
	2016 г.	2017 г.	2016 + 2017 гг.	общих	

Bacillariophyta	61	55	74	42	37.2
Chlorophyta	56	34	60	30	30.2
Cyanobacteria	16	12	22	6	11.1
Euglenophyta	10	4	11	3	5.5
Chrysophyta	10	13	17	6	8.5
Dinophyta	5	4	8	1	4.0
Cryptophyta	5	5	5	5	2.5
Xanthophyta	2	0	2	0	1.0
Итого	165	127	199	93	100

Степень сходства видового состава планктонной альгофлоры дельты в 2016 и 2017 гг. с использованием индекса Сьеренсена – Чекановского была выше средней (0.64). Общими для двух летних сезонов являлись 93 вида, большая часть из которых принадлежала диатомовым и зеленым водорослям (см. табл. 2).

Анализ таксономического состава фитопланктона разных станций отбора проб показал абсолютное доминирование представителей Bacillariophyta и Chlorophyta (табл. 3). Число ВВТ микроводорослей в 2016 г. на всех изученных станциях было выше, нежели в 2017 г., за исключением ст. «Муравицы».

Таблица 3. Таксономический состав фитопланктона на разных станциях дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Отделы	Число видовых и внутривидовых таксонов фитопланктона на разных станциях									
	Вайменка		Большая Листовка		Средняя		Горки		Муравицы	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bacillariophyta	52	36	24	26	31	26	34	25	24	32
Chlorophyta	47	21	23	20	28	14	27	14	22	20
Cyanobacteria	12	6	9	5	10	2	6	5	4	6
Euglenophyta	5	2	8	2	0	1	1	2	0	1
Chrysophyta	8	6	6	9	6	4	5	5	6	7
Dinophyta	2	2	4	2	2	3	4	0	4	2
Cryptophyta	4	4	5	4	5	5	4	4	5	5
Xanthophyta	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Итого	131	77	80	68	83	55	82	55	65	73

Практически на всех станциях за период исследования присутствовали виды *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* Hustedt, *Navicula tripunctata* (O. F. Müller) Bory, *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal и *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère из отдела Bacillariophyta; *Chlorella vulgaris* Beyerinck, *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald, *Microglena monadina* Ehrenberg, *Oocystis lacustris* Chodat, *Pseudodidymocystis lineata* (Korshikov) Hindák, *Raphidocelis danubiana* (Hindák) Marvan, Komárek & Comas из отдела Chlorophyta; цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima* West & G. S. West, *Aphanizomenon*

flos-aquae Ralfs ex Bornet & Flahault, *Planktolynghya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg. Из золотистых водорослей на всех станциях отмечен *Kephyrion moniliferum* (Gerlinde Schmid) Bourrelly, из отдела Cryptophyta – *Komma caudata* (L. Geitler) D. R. A. Hill и представители рода *Cryptomonas* Ehrenberg. Также во всех пробах наблюдалось достаточное количество мелких хлорококковых.

Анализ количественных характеристик фитопланктона показал, что в июле 2016 г. численность микроводорослей изменялась в зависимости от станции от 969.6 тыс. кл./л до 2.4 млн кл./л (табл. 4). Наибольший вклад в численность вносили представители зеленых водорослей (21.9–63.5 % от общей численности в зависимости от станции исследования) и цианобактерии (20.0–53.8 %). В июле 2017 г. значения численности фитопланктона колебались от 196.8 тыс. кл./л до 792.0 тыс. кл./л. На долю представителей отдела Chlorophyta приходилось 23.8–37.4 %, Cyanobacteria – 0–42.0 %.

Значения биомассы в июле 2016 г. лежали в диапазоне 0.15–1.31 мг/л (см. табл. 4). Основную роль играли диатомовые водоросли, составляющие 37.9–63.7 % от общей биомассы. Показатели биомассы планктонных водорослей в июле 2017 г. варьировали от 0.07 мг/л до 0.29 мг/л. На представителей Bacillariophyta приходилось 44.8–67.7 % от общей биомассы.

Таблица 4. Количественные показатели фитопланктона на разных станциях дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Количественные показатели	Станция									
	Вайменка		Большая Листовка		Средняя		Горки		Муровицы	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
<i>N</i> , тыс. кл./л	2442.7	792.0	1549.3	604.8	969.6	196.8	1818.0	276.8	1126.4	430.2
<i>B</i> , мг/л	1.31	0.21	1.70	0.29	0.15	0.11	0.78	0.07	0.65	0.12

Примечание. *N* – численность, *B* – биомасса.

Общие значения индексов альфа-разнообразия на станциях отбора проб не подвержены явным изменениям (табл. 5).

Средние значения индекса Маргалефа в июле 2016 и 2017 г. составляли 5.40 ± 0.60 и 4.88 ± 0.65 соответственно.

Значения индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанные по биомассе фитопланктона, в исследованные годы были близки (см. табл. 5). Средние величины индекса в 2016 г. составляли 3.06 ± 0.18 , в 2017 г. – 2.99 ± 0.13 .

В июле и 2016, и 2017 г. среднее значение индекса Симпсона составляло 0.09 ± 0.03 .

Средние значения индекса выравненности Пиелу в 2016 и 2017 г. были практически одинаковыми: 0.63 ± 0.27 и 0.64 ± 0.26 соответственно.

Таблица 5. Значение индексов альфа-разнообразия фитопланктона дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Год	Индекс разнообразия	Станция						Диапазон колебаний
		Вайменка	Б. Листовка	Средняя	Горки	Муровицы		
2016	<i>d</i>	5.96	4.60	5.40	6.01	5.05	1.41	
	<i>H</i>	3.36	3.11	2.92	2.98	2.94	0.44	
	<i>C</i>	0.06	0.07	0.11	0.11	0.12	0.06	
	<i>E</i>	0.78	0.78	0.71	0.70	0.73	0.08	
2017	<i>d</i>	4.97	5.18	4.28	4.22	5.77	1.55	

<i>H</i>	2.89	3.09	3.15	2.85	2.96	0.30
<i>C</i>	0.11	0.09	0.07	0.11	0.12	0.05
<i>E</i>	0.71	0.76	0.82	0.74	0.70	0.12

Примечание. *d* – индекс Маргалефа; *H* – индекс Шеннона – Уивера; *C* – индекс доминирования Симпсона; *E* – выравненность Пиелу.

Обсуждение

Сравнение флористического состава дельты р. Великой с исследованиями прошлых лет (Экологический..., 2003) показало заметное увеличение видового богатства фитопланктона к настоящему времени. В июле 1992 и 2000 гг. было обнаружено всего 57 и 33 ВВТ микроводорослей соответственно, а в 2016 и 2017 гг. – 165 и 127 соответственно (см. табл. 2). Такие различия могут быть связаны с тем, что с 1992 г. остановилась работа крупных предприятий г. Пскова, что ослабило антропогенную нагрузку на р. Великая, а это в свою очередь сказалось на улучшении качества воды реки и, возможно, послужило увеличению видового разнообразия фитопланктона. Несмотря на это, доминирующие отделы не изменились. По представленности видами в годы исследования в дельте превалировали отделы Bacillariophyta и Chlorophyta.

Средняя численность микроводорослей на исследованной акватории в 2016 г. составляла 1.6 млн кл./л, а в 2017 г. – 460.1 тыс. кл./л. Такая разница может быть связана с более теплыми погодными условиями в 2016 г. и обильным развитием мелкоклеточной колониальной цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima*, на долю которой приходилось до 40 % от общей численности. В 2017 г. увеличился вклад диатомовых водорослей в общую численность: 13.0–34.1 % от общего числа клеток микроводорослей. Летом 2016 г. на долю диатомовых водорослей приходилось всего 5.4–9.7 %.

Средняя биомасса микроводорослей на всех станциях отбора проб в июле 2016 г. была в 6 раз больше, чем в июле 2017 г.: 0.94 мг/л и 0.16 мг/л соответственно. Для сравнения: по имеющимся опубликованным данным, биомасса фитопланктона Псковского озера, примыкающего к дельте, в период 2012–2015 гг. лежала в интервале 0.4–34.0 мг/л (средняя биомасса составляла 5.4 ± 1.4 мг/л) (Шаров, Андреева, 2016). В нижнем же течении реки Великой, в непосредственной близости к дельте, биомасса фитопланктона в июле 2011 г. составляла 0.3 мг/л, а в июле 2012 г. была в районе 0.5 мг/л (Афониная, 2014). На основе представленных значений биомассы видно, что их изменение носит колебательный характер, связанный, вероятно, с гидролого-гидрохимическими процессами в водоеме, которые подвержены межгодовым и сезонным флуктуациям (Ястремский, 2016).

Заметные различия в количественных показателях фитопланктона в разные годы исследования обусловлены в том числе и колебанием уровня воды в акватории. По сравнению с 2016 г. 2017 г. был более многоводным: среднегодовые значения уровня воды примыкающего к дельте Псковского озера составляли 190 см и 219 см соответственно (Судницына, Михайлова, 2016; Михайлова, Михалап, 2019). Этим можно объяснить более высокие значения численности и биомассы микроводорослей в июле 2016 г. Также в 2016 г. наблюдалось большее количество крупноклеточных форм из родов *Gyrosigma* Hassall, *Nitzschia* Hassall, *Surirella* Turpin, *Ulnaria* (Kutzing) Compère.

При анализе альфа-разнообразия сообществ индексы рассчитывались не только в целом для сообщества, но и для каждого отдела, т. к. разные таксономические группы водорослей отличаются собственными параметрами разнообразия и особенностями жизненного цикла.

Ниже приведена гистограмма, отображающая значения индекса Маргалефа для основных отделов, отмеченных в дельте р. Великой (рис. 2).

Как видно из рис. 2, наибольшим видовым богатством обладают диатомовые и зеленые водоросли, наименьшим – эвгленовые и динофитовые водоросли.

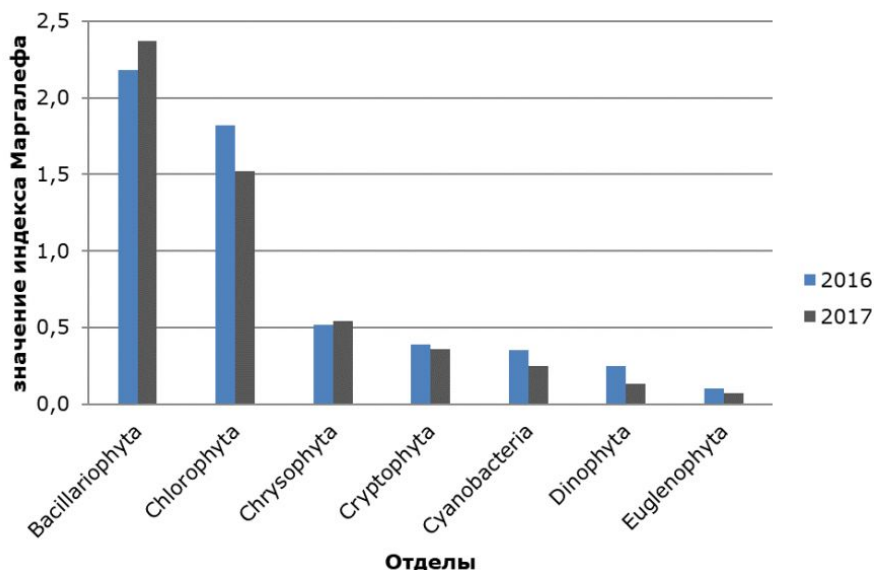


Рис. 2. Значение индекса Маргалефа для основных отделов микроводорослей дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Fig. 2. Values of the Margalef richness index for the basic phyla of microalgae of the Velikaya River delta (July 2016–2017)

Согласно значениям индекса Шеннона, наибольшее разнообразие отмечено для отделов Bacillariophyta и Chlorophyta (рис. 3). В нашем случае он рассчитывался по биомассе. Для зеленых водорослей в 2017 г. характерно большее разнообразие при меньшем видовом богатстве. Для отделов с меньшим числом ВВТ характерно снижение значения индекса Шеннона в 2017 г., что связано как с общим уменьшением видового богатства, так и с увеличением доминирования отдельных видов. Следует отметить, что значение индекса Шеннона для отдела Bacillariophyta в 2017 г. существенно не изменилось, в то время как для зеленых водорослей значительно увеличилось.

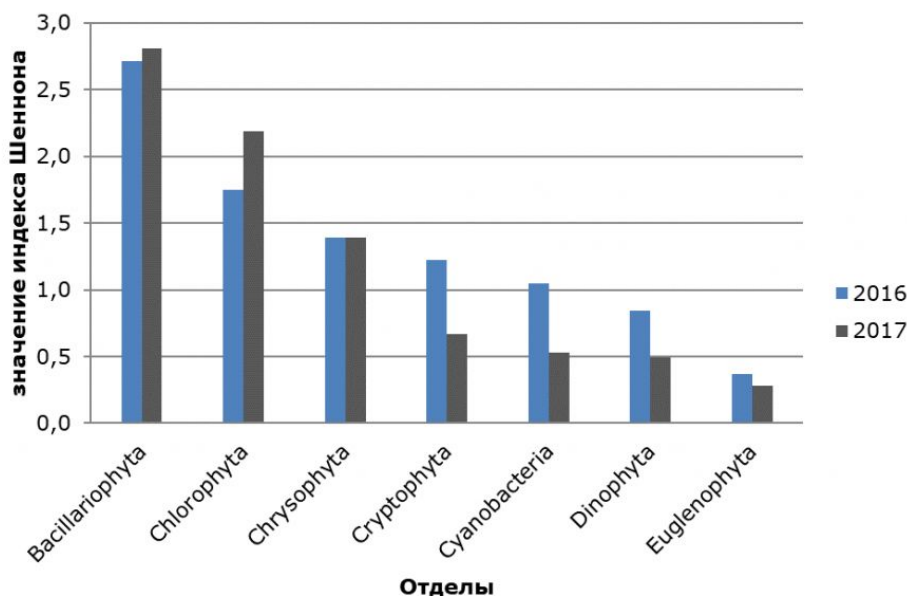


Рис. 3. Значение индекса Шеннона для основных отделов микроводорослей дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Fig. 3. Values of the Shannon index for basic phyla of microalgae of the Velikaya River delta (July 2016–2017)

Все исследуемые станции дельты характеризуются крайне низкими значениями

индекса Симпсона, что говорит об отсутствии явных доминантов (рис. 4). Тем не менее при рассмотрении данного индекса в рамках отдельных отделов разброс его значений весьма значителен – от минимального и практически не подверженного динамике для Bacillariophyta (0.09 в 2016 г. и 0.08 в 2017 г.) до весьма высоких показателей для Cryptophyta (0.35 и 0.67 в 2016 и 2017 гг. соответственно) и Euglenophyta (0.37 в 2016 г. и 0.80 в 2017 г.). В целом 2017 г. характеризуется увеличением значений индекса доминирования Симпсона в ряде отделов, однако для некоторых отделов (Chlorophyta и Dinophyta) наблюдается обратная закономерность.

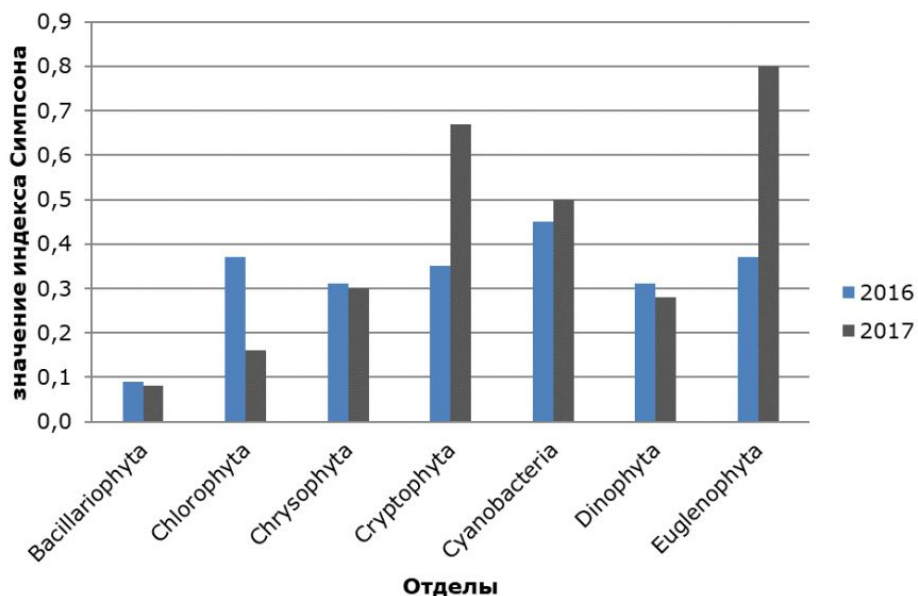


Рис. 4. Значение индекса Симпсона для основных отделов микроводорослей дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Fig. 4. Values of the Simpson index for the basic phyla of microalgae of the Velikaya River delta (July 2016–2017)

Значения индекса выравненности Пиелу изменяются неоднородно (рис. 5). Самая высокая выравненность характерна для представителей Bacillariophyta и Chrysophyta. Отдел Chlorophyta характеризуется увеличением выравненности видов в 2017 г. одновременно с общим понижением видового богатства и доминирования по сравнению с 2016 г. Отделы Cyanobacteria, Cryptophyta и Dinophyta характеризуются снижением выравненности в 2017 г., в то время как видовая структура отдела Euglenophyta становится более выравненной.

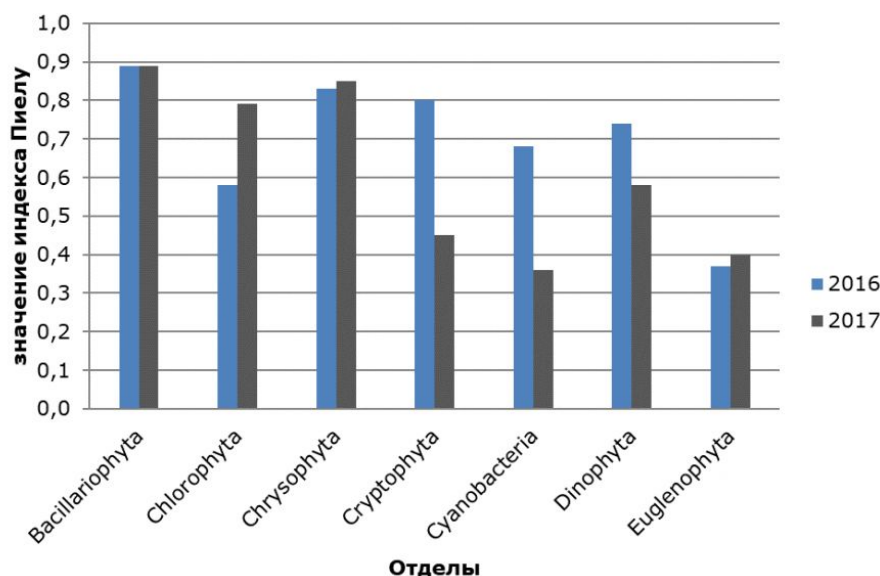


Рис. 5. Значение индекса выравненности Пиелу для основных отделов микроводорослей дельты р. Великой (июль 2016–2017 гг.)

Fig. 5. Values of the Pilou evenness index for the basic systematic groups of microalgae of the Velikaya River delta (July 2016–2017)

Исходя из вышесказанного следует, что, поскольку индекс Маргалефа исходит из оперирования абсолютной численностью, он очень чувствителен к объему выборки и количеству обнаруженных таксонов (Чернов и др., 2015). Это делает его малоприменимым для исследований фитопланктона с ограниченным объемом проб и высокой степенью случайности при их отборе. Аналогичные суждения высказывают и другие авторы (Пузнецките, Марушкина, 2005).

Индекс Шеннона достаточно репрезентативно отражает сложность группировок микроводорослей, отобранных в разных частях дельты р. Великой. Общее снижение его значений соответствует некоторому уменьшению разнообразия видов в 2017 г. по сравнению с 2016 г., что, скорее всего, связано с повышением уровня воды и уменьшением концентрации фитопланктона, что при ограниченном случайном отборе имеет очень важное значение.

Полученные данные по информационному разнообразию для дельты вполне сопоставимы с результатами других авторов, полученных для Псковского озера в период 2012–2015 гг. (Шаров, Андреева, 2016). Исходя из среднего значения индекса Шеннона (2.87) очевидно, что он существенно не отличается от полученных нами показателей для 2016 г. (3.06) и 2017 г. (2.99). Однако значительные колебания значений индекса, указанные в предыдущие годы (2.03–4.36), свидетельствуют о заметных межгодовых перестройках структуры сообщества.

Индекс доминирования Симпсона имеет традиционно низкое значение для фитопланктона дельты, что указывает на отсутствие явных доминантов. Однако при рассмотрении отдельных групп фитопланктона его значения могут существенно варьировать (см. рис. 4).

Аналогично можно сказать и об изменении значений индекса выравненности Пиелу, которые заметно снизились в 2017 г. только для отделов Cryptophyta, Dinophyta и Cyanobacteria. Для других отделов его значения существенно не изменились.

Заключение

На протяжении всего периода исследований в дельте р. Великой планктонная альгофлора характеризовалась как диатомово-хлорофитовая, поскольку именно на отделы Bacillariophyta и Chlorophyta приходились максимальные значения количества ВВТ, а также суммарной биомассы клеток. Это сопоставляется с данными предыдущих лет исследования (Дрозденко, Михалап, 2015).

При этом следует отметить, что, хотя весь комплекс микроводорослей изменялся незначительно, перестройки внутри отдельно взятых отделов иногда были весьма существенными. Особенно это касается критериев доминирования и выравниваемости.

При сравнении видового состава микроводорослей дельты р. Великой 2016–2017 гг. выявлено некоторое снижение общего видового богатства и разнообразия. Это обусловлено как внешними факторами, так и внутризкосистемными причинами. Так, общее снижение численности, биомассы и показателей разнообразия микроводорослей в 2017 г., вероятно, связано с повышением уровня воды и общим уменьшением содержания фитопланктона в воде, что отмечалось для данного водоема ранее (Laugaste et al., 2001). В то же время колебания количественных показателей и разнообразия микроводорослей в течение ряда лет наблюдений выявлено и в более ранних исследованиях Псковского озера, в частности, его южной части (Шаров, Андреева, 2016).

Сравнение станций отбора проб по суммарным и дифференцированным показателям альфа-разнообразия свидетельствует о наличии в экосистеме дельты р. Великой временных колебаний, присущих фитопланктонным сообществам внутренних водоемов Европейской части России. Такая перестройка структуры обусловлена как процессами, происходящими внутри сообществ микроводорослей, так и внешними гидрологическими и гидрохимическими факторами.

Библиография

- Алёкин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
- Афоница Е. А. Сезонная динамика фитопланктона реки Великой (Псков, Россия) // Альгология. 2014. Т. 24. № 4. С. 489–503.
- Габышев В. А., Габышева О. И. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири / Под ред. Л. Г. Корневой. Новосибирск: СибАК, 2018. 414 с.
- Голлербах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Наука, 1953. Вып. 2. 650 с.
- Гусева К. А. К методике учета фитопланктона // Труды Института биологии водохранилищ. Л., 1959. Т. 2. С. 44–51.
- Дедусенко-Щеголева Н. Т., Матвиенко А. М., Шкорбатов Л. А. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. Chlorophyta: Volvocineae // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.; Л.: Наука, 1959. Вып. 8. 223 с.
- Дедусенко-Щеголева Н. Т., Голлербах М. М. Желтозеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.; Л.: Наука, 1962. Вып. 5. 272 с.
- Дрозденко Т. В., Михалап С. Г. Мониторинг состояния фитопланктона дельты реки Великой // Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки». Вып. 6. Псков: Псковский государственный университет, 2015. С. 3–8.
- Дрозденко Т. В., Михалап С. Г. Структурно-таксономическое разнообразие и экологические особенности фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 41. С. 118–134. DOI: 10.17223/19988591/41/7.
- Лебедева О. А. Экосистема дельты реки Великой и ее влияние на Псковско-Чудское озеро // Псковский регионологический журнал. 2006. № 1. С. 107–121.
- Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С. и др. Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Наука, 1951. Вып. 4. 620 с.
- Матвиенко А. М. Золотистые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1954. Вып. 3. 188 с.
- Михайлова К. Б., Михалап С. Г. Многолетняя динамика площади зарастания гелофитной растительностью Псковского озера // Трансформация экосистем. 2019. № 1. С. 86–93.
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. 426 с.

Попова О. А., Решетников Ю. С., Терещенко В. Г. Новые подходы к мониторингу биоразнообразия // Мониторинг биоразнообразия: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1997. С. 269–277.

Пузнецките К. С., Марушкина Е. В. Применение индексов альфа-разнообразия зоопланктонных сообществ для оценки трофического статуса водоемов (на примере некоторых озер чебаркульской группы) // Вестник Челябинского государственного университета. 2005. Т. 12. № 1. С. 22–25.

Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: Методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.

Соловьева В. В., Корнева Л. Г. Характеристика сапробности мелководий и пелагиали Волжского плеса Рыбинского водохранилища по фитопланктону // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Естественные науки». 2012. Т. 21. № 21 (140). С. 34–39.

Судницына Д. Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков: ЛОГОС Плюс, 2012. 224 с.

Судницына Д. Н., Михайлова К. Б. Влияние колебаний уровня воды Псковско-Чудского озера на структуру флоры Талабских островов // Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки». Вып. 9. Псков: Псковский государственный университет, 2016. С. 42–50.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 327 с.

Флора водоростей водоем Украины. Том I. Синьозелені водорості. Вип. 1. Порядок хроококальні / О. И. Коваленко. Київ: Инст. бот. ім. М. Г. Холодного НАН України, 2009. 397 с.

Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / АН УССР. Институт ботаники им. Н. Г. Холодного; Отв. ред. Г. М. Паламарь-Мордвинцева. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.

Чернов Т. И., Тхакахова А. К., Кутовая О. В. Оценка различных индексов разнообразия для характеристики почвенного прокариотного сообщества по данным метагеномного анализа // Почвоведение. 2015. № 4. С. 462–468.

Шаров А. Н., Андреева И. В. Пространственно-временная организация фитопланктона Чудско-Псковского озера // Принципы экологии. 2016. № 5. С. 71–80. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5502.

Шитиков В. К., Зинченко Т. Д., Розенберг Г. С. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. Тольятти: Кассандра, 2011. 255 с.

Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1980. 176 с.

Экологический мониторинг дельты реки Великой. Ч. I / Под ред. О. А. Лебедевой. Псков: ПГПИ, 2003. 156 с.

Ястремский В. В. Структура и продуктивность фитопланктона Псковско-Чудского озера. СПб.: ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2016. 296 с.

Benton M. J. Origins of Biodiversity // PLoS Biol. 2016. Vol. 14 (11). URL: <https://DOI.org/10.1371/journal.pbio.2000724> (дата обращения 01.02.2019).

Byrnes J. E. K., Gamfeldt, L., Forest I., Lefcheck J. S., Griffin, J. N., Hector A., Bradley C. J., David H. U., Laura D. E., Duffy E. J. Investigating the relationship between biodiversity and ecosystem multifunctionality: challenges and solutions // Methods in Ecology and Evolution. 2014. Vol. 5 (2). P. 111–124. DOI: 10.1111/2041-210X.12143.

Chao A., Chazdon R. L., Colwell R. K., Shen T. J. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data // Ecol. Lett. 2005. Vol. 8. P. 148–159. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00707.x.

Drozdenko T., Mikhalap S., Nikolskaya L., Chernova A. Assessment of Ecological State of the Velikaya River Delta Based on Hydrochemical Indicators and Structure of Phytoplankton // Environment. Technology. Resources: Proceeding of the 11th International Scientific and Practical Conference. June 15–17, 2017. Vol. 1. Rezekne: Rezekne Academy of Technologies, 2017. P. 82–88.

Drozdenko T., Mikhalap S., Mikhailova K., Chernova A. The modern status of the

Velikaya river delta on the state of primary producers // Environment. Technology. Resources: Proceeding of the 12th International Scientific and Practical Conference. June 20–22, 2019. Rezekne: Rezekne Academy of Technologies, 2019. Vol. 1. P. 48–53.

Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M. C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson C. D., Mikusiński G., Andersson E., Westerlund B., Andrén H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // Nature Communications. 2013. Vol. 4 (1340). P. 1–8. DOI: 10.1038/ncomms2328.

Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 25.04.2020).

Ives A. R., Carpenter S. R. Stability and diversity of ecosystems // Science. 2007. Vol. 317. P. 58–62.

Komarek J. Cyanoprokaryota. Teil 1: Chroococcales / J. Komarek, K. Anagnostidis // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1. Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm., 1998. 548 p.

Komarek J. Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales / J. Komarek, K. Anagnostidis // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2. München, 2005. 759 p.

Laugaste R., Noges T., Noges P., Jastremskij V., Milius A., Ott I. Algae // Lääne-Elva Flora and Fauna. 2001. Tartu, 2001. P. 31–49.

Liu J., Kattel G., Peter H. A., Yang H. Towards threshold-based management of freshwater ecosystems in the context of climate change // Ecological Modelling. 2015. Vol. 318. P. 265–274.

Millennium Ecosystem Assessment Series. Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Washington, D. C.: Island Press, 2005. 63 p.

Naeem S., Li S. Biodiversity enhances ecosystem reliability // Nature. 1997. Vol. 390. P. 507–509.

Nguyen N. T. H., Soto A. J., Kontonatsios G., Batista-Navarro R., Ananiadou S. Constructing a biodiversity terminological inventory // PLoS ONE. 2017. Vol. 12 (4). URL: <https://DOI.org/10.1371/journal.pone.0175277> (дата обращения: 03.02.2019).

Ricotta C., Bacaro G., Moretti M. A New Measure of Functional Evenness and Some of Its Properties // PLoS ONE. 2014. Vol. 9 (8). URL: <https://DOI.org/10.1371/journal.pone.0104060> (дата обращения: 04.02.2019).

Schindler D. W. Sustaining aquatic ecosystems in boreal regions // Conservation Ecology. 1998. Vol. 2 (2). P. 18. URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art18/> (дата обращения: 01.02.2019).

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-64-46018.

SPECIES STRUCTURE AND DIVERSITY OF PHYTOPLANKTON OF THE VELIKAYA RIVER DELTA (PSKOV REGION, RUSSIA)

DROZDENKO
Tatyana Viktorovna

*PhD, Pskov State University (Pskov, Sovetskaya st. 21),
tboichuk@mail.ru*

MIKHALAP
Sergey
Gennadyevich

*Pskov State University (Pskov, Sovetskaya st. 21),
sgmikhailap@gmail.com*

BUGERO
Nina Vladimirovna

*Ph.D., Pskov State University (Pskov, Sovetskaya st. 21),
bugero@mail.ru*

Keywords:

biodiversity,
phytoplankton,
communities,
indices of
biodiversity,
Velikaya River
delta, Pskov
region

Reviewer:

E. Vodeneeva

Received on:

14 May 2018

Published on:

30 September
2020

Summary:

The article considers the species structure and the temporal dynamics of some indicators of alpha and beta diversity of phytoplankton of the Velikaya River delta (Pskov region, Russia) in the summer period 2016–2017. Microalgae are important components of aquatic ecosystems because they form a significant part of a primary production. They are the first to respond to any changes in ecosystems, so, in addition to the coenotic, they have the most important monitoring value. The aim of the work was to study the species structure and some parameters of the diversity of phytoplankton in the Velikaya River delta at five specified stations. The Velikaya River delta is a unique natural complex, where the main riverbed divides into several branches, separated by low islands overgrown with macrophytes. Due to the peculiarities of the hydrological and climatic regimes, unique environmental conditions are created in the delta, which is reflected in the structure and species richness of the phytoplankton communities inhabiting it. In the course of the research, it was found that chlorophytic-diatomic complex of microalgae dominated in all sample stations during 2016–2017. When comparing the taxonomic composition of microalgae in 2016–2017 with the data of 1990–2000, a significant increase in the total species richness was revealed. It may be due to changes in the conditions of the delta ecosystem, as well as to the methodology for obtaining data. The average number and biomass of microalgae in 2016 were 1.6 million cells/l and 0.94 mg/l, respectively, and in 2017 – 460.1 thousand cells/l and 0.16 mg/l, respectively. Quantitative indicators of phytoplankton in 2016 were significantly higher than in 2017, due to temperature conditions and fluctuations in the water level in the delta. The values of the generalized alpha diversity indices in the separately considered phyla had significant differences. The obtained data indicate the presence of annual rearrangements in communities of microalgae, and they are more pronounced within individual phyla.