

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ВОДОТОКОВ СУБАРКТИКИ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

М. И. Змётная

ФГБНУ Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, Северный филиал (Архангельск, Российская Федерация)

М. В. Плакуева

ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Архангельск, Российская Федерация)

Цель исследования – изучение структуры и видового разнообразия зоопланктонного сообщества некоторых водотоков Субарктики с помощью общепринятых гидробиологических методов, включающих сбор полевого материала, его камеральную обработку. Видовое разнообразие рассчитывалось на основе индекса Шеннона. Исследования показали, что структурообразующее ядро зоопланктонного сообщества водотоков Субарктики по численности за 2013–2014 гг. составляют три–пять видов. Максимальное видовое разнообразие соответствует периоду интенсивного развития зоопланктона, минимальное приходится на конец вегетационного периода.

Ключевые слова: зоопланктон, численность, видовое разнообразие, индекс Шеннона, кривая доминирования-разнообразия, реки Архангельской области.

Статья поступила в редакцию 29 июня 2017 г.

Введение

В данное время все больше внимания уделяется Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) вследствие увеличения хозяйственного воздействия на территории при сложных климатических, геологических и других условиях. В связи с этим встает вопрос о необходимости всесторонней характеристики экосистем АЗРФ.

Сообщество зоопланктона — одно из основных звеньев, составляющих гидробиоценоз. Его роль особенно велика в трансформации энергии и биотическом круговороте веществ, определяющих продуктивность водоема [1]. Рассматриваемое сообщество составляет основу кормовой базы рыб. От интенсивности развития зоопланктона зависит рыбопродуктивность водоемов, особенно велико значение зоопланктона в питании молоди [2]. Для личинок практически всех видов рыб независимо от характера их питания во взрослом состоянии зоопланктон является основной пищей. От уровня его развития зависят выживаемость и рост молоди [3–5].

На сегодня отсутствуют какие-либо литературные данные о видовом разнообразии зоопланктонного

сообщества водотоков Архангельской области, территориально входящих в АЗРФ. Характеристика зоопланктонного сообщества водотоков ограничивается приведением в литературных источниках нескольких параметров (численности, биомассы и др.) и видового состава [6–8], в немногих работах используются индексы видового разнообразия, в частности при изучении некоторых малых водотоков: рек Золотица, Светлая [9], Нюхча [10]. Сотрудники Северного филиала Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича в рамках рыбохозяйственных исследований достаточно хорошо изучили зоопланктон водоемов Архангельской области [11–17] и водотоков Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Зоопланктонное сообщество рассматриваемых нами крупных речных систем в литературных источниках не представлено, при рыбохозяйственной характеристике водотоков [18] задействуются литературные данные [19; 20]. Важно иметь представление о современном видовом разнообразии зоопланктонного сообщества, которое складывается из общего числа видов (видового богатства) и выравненности, т. е. относительного распределения особей среди видов [21].

© Змётная М. И., Плакуева М. В., 2018

Информативными показателями видового разнообразия сообществ являются индексы разнообразия [22; 23]. Среди них наиболее показателен индекс Шеннона, применяемый во многих работах как для характеристики видового разнообразия, так и для определения трофического статуса водоемов [24—26]. Наряду с применением индекса Шеннона наглядно представить оба компонента разнообразия удобно через кривую доминирования-разнообразия [10].

Материалы и методика

Исследование зоопланктонного сообщества осуществлялось в рамках программы гидробиологических наблюдений ФГБУ «Северное УГМС» на 2013—2014 гг. Отбор и обработка проб осуществлялись стандартными методами [1; 22; 27—31] в вегетационный период ежемесячно с июня по октябрь в реках Северная Двина, Онега, Пинега, Мезень. Всего в указанных водотоках за 2013—2014 гг. было отобрано и затем обработано 152 пробы воды.

Сравнительная оценка зоопланктонного сообщества водотоков Архангельской области проводилась с помощью таких характеристик, как число видов (m^3), численность (экз./ m^3), соотношение представителей таксономических групп *Rotatoria*, *Cladocera*, *Copepoda* по численности ($N_{rat}/N_{clad}/N_{cop}$).

Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества рассчитывалось на основе индекса разнообразия Шеннона по численности зоопланктона [32]:

$$H_n = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i,$$

где S — общее число видов в пробе; p_i — доля i -го вида в общей численности (или в биомассе) всех видов в пробе или удельное обилие каждого вида.

Видовое разнообразие сообщества также представлялось в виде графика, где по оси y откладывалась среднегодовая численность каждого вида (доля общей численности за год), а по оси x — последовательность видов от наиболее до наименее обильного (расположение видов по степени значимости), что аналогично кривой доминирования-разнообразия [21]. Кривая доминирования-разнообразия строилась для каждого водотока или участка водотока (река Северная Двина).

Структурообразующий комплекс видов зоопланктонного сообщества по численности определялся в соответствии с вкладом каждого вида в 100%-ную численность за два года.

Математическая обработка данных производилась с помощью традиционных статистических параметров в программе SPSS.

Результаты исследования

В водотоках Архангельской области всего за вегетационные периоды 2013—2014 гг. выявлено 73 вида зоопланктона, относящихся к четырем систематическим группам: подклассу *Copepoda* (веслоногие рачки), надотряду *Cladocera* (ветвистоусые рачки), классу *Rotatoria* (коловратки), подклассу *Branchiura* (карпоеды) (табл. 1).

По количеству видов и численности в период проведения исследований доминировали представители *Copepoda* и *Cladocera*. Наиболее разнообразными в таксономическом отношении являлись

Таблица 1. Видовой состав зоопланктона водотоков Архангельской области 2013—2014 гг.

№ п/п	Таксон	Онега	Северная Двина	Пинега	Мезень
<i>Copepoda</i>					
1	<i>Acantocyclops sp.</i> (Kiefer)	–	–	+	–
2	<i>Acantocyclops bicuspidatus</i> (Claus)	–	+	–	–
3	<i>Acantocyclops vernalis</i> (Fisch)	–	+	–	–
4	<i>Acantocyclops viridis</i> (Jurine)	–	+	–	+
5	<i>Cyclops scutifer</i> (Sars)	+	+	+	+
6	<i>Cyclops strenuus</i> (Fisch)	–	+	–	–
7	<i>Diaptomidae sp.</i> (Sars)	–	+	–	–
8	<i>Ectinosoma sp.</i> (Sars)	–	+	–	–
9	<i>Ectocyclops phaleratus</i> (Koch)	+	+	–	–
10	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fisch)	+	+	–	+
11	<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe)	–	+	–	–
12	<i>Eurytemora gracilis</i> (Sars)	–	+	–	–
13	<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe)	+	+	–	–
14	<i>Eurytemora sp.</i> (Giesbrecht)	–	+	–	–
15	<i>Harpacticus uniremis</i> (Kroyer)	–	+	–	–

№ п/п	Таксон	Онега	Северная Двина	Пинега	Мезень
16	<i>Harpacticus sp.</i> (M. Edwards)	–	+	–	–
17	<i>Heterocope sp.</i> (Sars)	–	+	–	
18	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+	+	+	+
19	<i>Mesocyclops oithonoides</i> (Sars)	+	+	+	
20	<i>Paracyclops affinis</i> (Sars)	+	+		
21	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fisch)	+	+	+	+
Cladocera					
22	<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	+	+	+	+
23	<i>Alona affinis</i> (Leydig)	–	+	–	
24	<i>Alona intermedia</i> (Sars)	–	–	–	+
25	<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
26	<i>Alona sp.</i> (O.F. Muller)	–	+	–	–
27	<i>Bosmina coregoni</i> (Baird)	–	+	–	–
28	<i>Bosmina kessleri</i> (Uljanin)	–	+	–	–
29	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
30	<i>Bosmina longispina</i> (Leydig)	–	+	+	+
31	<i>Bosmina obtusirostris</i> (Sars)	+	+	+	+
32	<i>Camptocercus fennicus</i> (Stenroos)	+	–	–	–
33	<i>Ceriodaphnia affinis</i> (Lilljeborg)	+	+	+	+
34	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Muller)	–	+	+	+
35	<i>Ceriodaphnia sp.</i> (Dana)	–	+	–	
36	<i>Chydorus latus</i> (Sars)	–	+	–	+
37	<i>Chydorus ovalis</i> (Kurz)	–	+	–	
38	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
39	<i>Daphnia cristata</i> (Sars)	–	+	–	+
40	<i>Daphnia cucullata</i> (Sars)	–	+	–	–
41	<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Muller)	–	+	+	–
42	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	–	+	–	–
43	<i>Eurycercus gracialis</i> (Lilljeborg)	–	+	–	–
44	<i>Ilyocryptus acutifrons</i> (Sars)	–	+	+	–
45	<i>Ilyocryptus sordidus</i> (Lievin)	–	+	–	–
46	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	–	+	–	–
47	<i>Leydigia leidigii</i> (Leydig)	–	+	+	+
48	<i>Limnoscia frontosa</i> (Sars)	–	+	–	
49	<i>Macrothrix hirsuticornis</i> (Norman and Brady)	–	+	–	+
50	<i>Macrothrix laticornis</i> (Baird)	–	+	–	–
51	<i>Ophryoxus gracilis</i> (Sars)	–	+	–	–
52	<i>Peracantha truncata</i> (O.F. Muller)	+	–	–	–
53	<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird)		–	+	+
54	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	+	+	–	–
55	<i>Scapholeberis sp.</i> (Schoedler)	–	+	–	–
56	<i>Sida crystalina</i> (O.F. Muller)	–	+	+	–
57	<i>Simpocephalus serrulatus</i> (P.F. Muller)	–	+	–	–

Окончание табл. 1

№ п/п	Таксон	Онега	Северная Двина	Пинега	Мезень
<i>Rotatoria</i>					
58	<i>Asplanchna herricki</i> (Guerne)	–	+	+	+
59	<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse)	–	+	+	–
60	<i>Brachionus</i> sp. (Pallas)	–	–	+	–
61	<i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas)	+	+	+	+
62	<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann)		+	–	–
63	<i>Euchlanis dilatata</i> (Kellicott)	+	+	–	–
64	<i>Euchlanis</i> sp. (Dana)	–	+	–	–
65	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	–	+	–	–
66	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	+	+	+	+
67	<i>Keratella quadrata</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
68	<i>Lecane</i> sp. (Nitzsch)	+	–	–	+
69	<i>Notholca accuminata</i> (Ehrenberg)	–	–	+	–
70	<i>Ploesoma</i> sp. (Levander)	–	+	–	–
71	<i>Polyarthra</i> sp. (Ehrenberg)	–	+	–	–
72	<i>Trichocerca</i> sp. (Lamarck)	–	+	–	–
<i>Branchiura</i>					
73	<i>Argulus</i> sp. (Linnaeus)	–	+	–	–
	Всего таксонов	22	65	25	24

Таблица 2. Процентное соотношение представителей разных таксономических групп ($N_{rat}/N_{clad}/N_{cop}$) по численности водотоков Архангельской области в 2013—2014 гг.

Река / участок реки	Год	Соотношение по численности ($N_{rat}/N_{clad}/N_{cop}$), %				
		Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Онега	2013	60/40/0	60/40/0	56/22/22	0/37/63	0/80/20
	2014	57/21/22	56/33/11	38/38/25	0/19/81	0/60/40
Мезень	2013	0/50/50	3/76/21	18/73/9	20/60/20	50/50/0
	2014	—	47/33/20	45/60/0	0/100/0	0/75/25
Пинега	2013	33/0/67	0/57/43	22/71/7	0/33/67	67/33/0
	2014	70/10/20	48/41/11	14/76/10	23/48/29	17/62/21
Северная Двина / верховье	2013	15/62/23	25/75/0	0/98/2	25/75/0	0/100/0
	2014	0/100/0	40/60/0	0/100/0	0/100/0	0/100/0
Северная Двина / нижнее течение	2013	0/67/33	0/65/35	5/74/21	50/50/0	17/83/0
	2014	0/47/53	12/68/20	84/12/4	3/32/32	—
Северная Двина / устье	2013	25/21/54	0/55/45	11/78/13	13/58/29	25/31/44
	2014	45/23/33	12/44/40	32/51/17	0/47/53	0/58/42
Северная Двина / дельта	2013	13/14/68	0/9/91	0/75/23	0/4/96	28/34/38
	2014	58/13/29	10/40/50	11/33/56	0/31/69	0/29/71

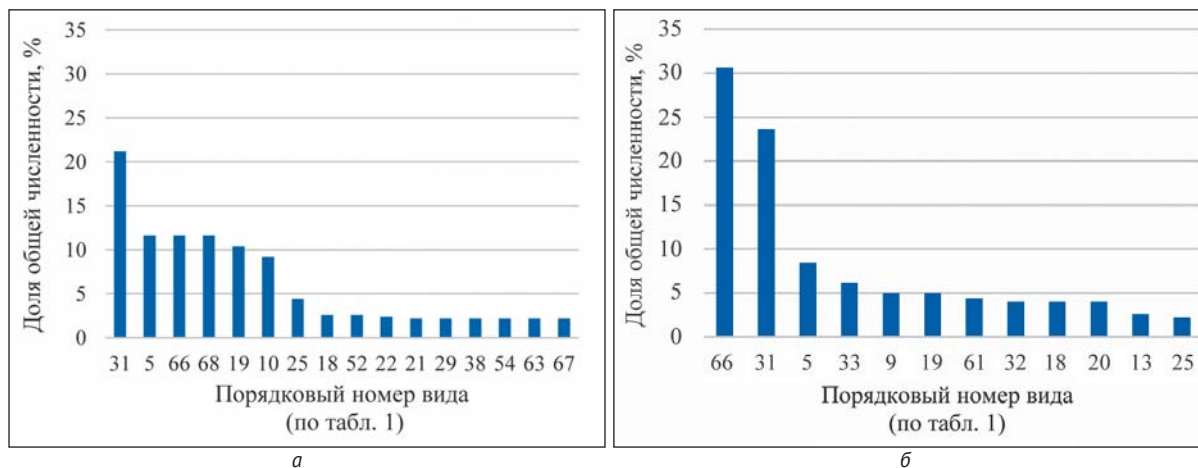


Рис. 1. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества Онеги в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)

представители *Cladocera*. В зависимости от месяца и водотока процентное соотношение представителей разных таксономических групп ($N_{rat}/N_{clad}/N_{cop}$) по численности существенно варьировало (табл. 2).

В водах Онеги в черте села Порог (на середине реки) за вегетационные периоды 2013—2014 гг. отобрано и обработано 10 проб. За исследуемый период выявлено 22 вида зоопланктона, относящихся к *Sorperoda* (8 видов), *Cladocera* (9 видов), *Rotatoria* (5 видов). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов в вегетационный период за 2013—2014 гг. составил 0,75 (при $p = 0,01$). В 2014 г. 21% общей среднегодовой численности приходился на *B. obtusirostris*, несколько

видов находились в диапазоне 8—11%, 10 видов составляли от 4% до 1%, что свидетельствует о высоком видовом разнообразии (рис. 1).

В 2013 г. вид *K. cochlearis* занимал 30% доступного пространства, *B. obtusirostris* — 24%, таким образом, остальные 10 видов занимали 46% общей численности.

В соответствии с графиком (см. рис. 1) в 2014 г. сообщество зоопланктона характеризовалось наибольшей выравненностью и высоким видовым разнообразием по сравнению с 2013 г., что подтверждается также количеством видов, численностью зоопланктона и средними значениями индекса Шеннона в 2014 г. по сравнению с 2013 г. (табл. 3).

Таблица 3. Статистические характеристики количества видов, численности зоопланктона и показателя видового разнообразия водотоков Архангельской области

Статистическая характеристика	Численность, экз./м ³		Количество видов, м ³		H_n	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Онега						
Среднее значение	128	304	3,6	5,0	1,46	2,05
Медиана	100	180	3,0	5,0	1,37	2,16
Стандартное отклонение δ	38,9	217,8	0,89	2,1	0,58	0,69
Стандартная ошибка m :						
max	180	560	5	8	2,20	2,92
min	100	100	3	2	0,91	0,97
Количество значений n	5	5	5	5	5	5
Мезень						
Среднее значение	488	340	5,6	4,5	1,62	1,66
Медиана	100	150	3,0	4,5	1,00	1,58
Стандартное отклонение, δ	824	430	5,1	1,7	0,89	0,22
Стандартная ошибка, m :						
max	1960	980	14	6	2,65	1,98
min	80	80	2	3	0,91	1,50

Окончание табл. 3

Статистическая характеристика	Численность, экз./м ³		Количество видов, м ³		H_n	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Количество значений n	5	4	5	4	5	4
Пинега						
Среднее значение	228	289	4,6	4,7	1,67	2,04
Медиана	60	260	3,0	4,0	1,58	1,95
Стандартное отклонение δ	332	159	3,78	2,38	0,81	0,53
Стандартная ошибка m :	148,8	53,0	1,6	0,7	0,36	0,17
max	820	580	11	10	2,81	3,04
min	60	100	2	3	0,92	1,37
Количество значений n	5	9	5	9	5	9
Верховье Северной Двины						
Среднее значение	304	96	5,0	2,8	1,81	1,34
Медиана	160	100	3,00	2,00	1,50	0,97
Стандартное отклонение δ	284	22	2,82	1,09	0,68	0,52
Стандартная ошибка m :	126,8	9,7	1,2	0,4	0,3	0,2
max	800	120	9	4	2,97	1,92
min	120	60	3	2	1,30	0,92
Количество значений n	5	5	5	5	5	5
Нижнее течение Северной Двины						
Среднее значение	658	1337	6,00	7,0	2,02	2,22
Медиана	110	930	3,00	7,0	1,51	2,17
Стандартное отклонение δ	812	1355	5,75	2,72	1,16	0,47
Стандартная ошибка m :	256,8	479,1	1,8	0,9	0,3	0,16
max	1980	4300	17	12	3,58	3,18
min	40	320	2	4	0,92	1,69
Количество значений n	10	8	10	8	10	8
Устье Северной Двины						
Среднее значение	1018	1789	4,9	7,2	1,87	2,24
Медиана	150	350	3,50	6,00	1,88	2,16
Стандартное отклонение δ	1737	3778,6	3,44	4,79	0,57	0,69
Стандартная ошибка m :	388,4	844,9	0,7	1,0	0,12	0,15
max	5380	13200	14	18	3,04	3,48
min	60	100	2	2	0,92	0,97
Количество значений n	20	20	20	20	20	20
Дельта Северной Двины						
Среднее значение	4231	3024	5,8	7,4	1,73	2,36
Медиана	300	1040	5,00	6,00	1,92	2,52
Стандартное отклонение δ	10096,2	5272,4	3,54	3,54	0,66	0,61
Стандартная ошибка m :	2019,2	1150,5	0,7	0,7	0,13	0,13
min	40	140	2	3	0,91	1,04
Количество значений n	25	21	25	21	25	21

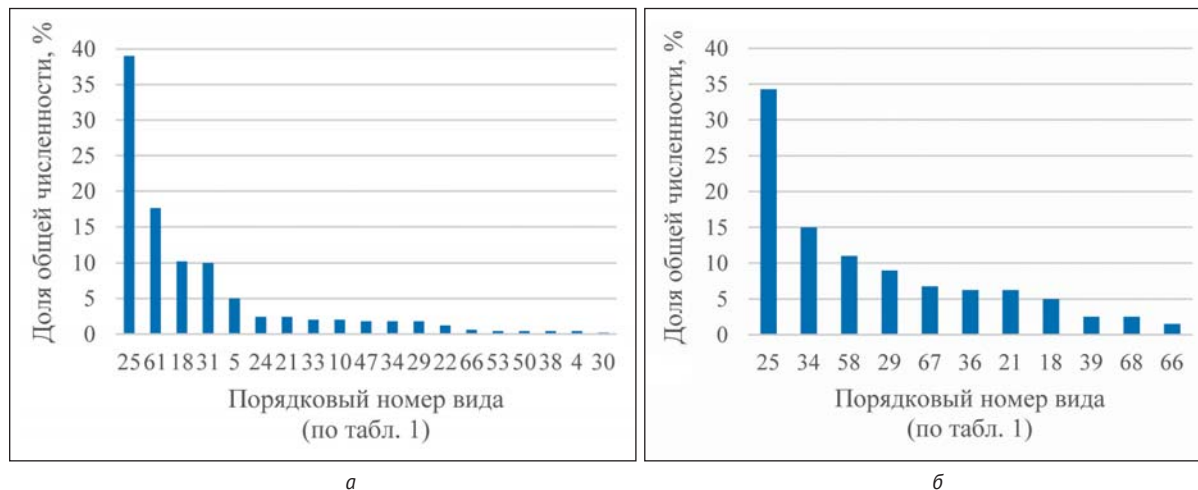


Рис. 2. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества Мезени в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)

Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен четырьмя видами — *B. obtusirostris*, *K. cochlearis*, *C. scutifer*, *M. oithonoides*, что подтверждается расчетами по доминированию отдельных видов (табл. 4). Их суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 54%.

Более 30% общей среднегодовой численности приходится на вид *A. quadrangularis*, что подтверждается доминированием этого вида на протяжении 2013 г. (см. табл. 4). Однако наибольшее видовое разнообразие при наименьшей выравненности наблюдалось в 2013 г., что подтверждается средними

значениями количества видов и численности. Средние значения индекса Шеннона за исследуемый период практически равнозначны (см. табл. 3).

Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен четырьмя видами — *A. quadrangularis*, *B. calyciflorus*, *Cer. quadrangular*, *M. leuckarti*, что подтверждается доминированием отдельных видов (см. табл. 4), чей суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 61,4%.

В водах Мезени видовое разнообразие изучалось в черте деревни Малонисогорская (на середине реки). За вегетационные периоды 2013 и 2014 гг.

Таблица 4. Доминирующие виды зоопланктона по численности в реках Архангельской области за 2013—2014 гг., % численности

Год	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Онега					
2013	<i>K. cochlearis</i> (60)	<i>K. cochlearis</i> (60)	<i>K. cochlearis</i> (33)	<i>B. obtusirostris</i> (38)	<i>B. obtusirostris</i> (60)
2014	<i>K. cochlearis</i> (25)	<i>K. cochlearis</i> (33)	<i>B. obtusirostris</i> (37)	<i>E. serrulatus</i> (46)	<i>B. obtusirostris</i> (60)
Мезень					
2013	<i>M. leuckarti</i> (50), <i>B. obtusirostris</i> (50)	<i>A. quadrangularis</i> (49)	<i>A. quadrangularis</i> (36)	<i>A. quadrangularis</i> (60)	<i>Br. calyciflorus</i> (50), <i>A. quadrangularis</i> (50)
2014	—	<i>A. herricki</i> (39)	<i>Cer. quadrangula</i> (20), <i>A. herricki</i> (20), <i>A. quadrangularis</i> (20)	<i>A. quadrangularis</i> (40), <i>C. quadrangularis</i> (40)	<i>A. quadrangularis</i> (50)
Пинега					
2013	<i>M. oithonoides</i> (33), <i>K. cochlearis</i> (33)	<i>B. longirostris</i> (43)	<i>Cer. affinis</i> (39)	<i>B. calyciflorus</i> (30)	<i>B. calyciflorus</i> (66)
2014	<i>K. cochlearis</i> (41), <i>Cyclopoida</i> (41)	<i>B. longirostris</i> (34)	<i>Cer. affinis</i> (20—35), <i>A. herricki</i> (20), <i>A. quadrangularis</i> (20)	<i>B. calyciflorus</i> (30), <i>A. quadrangularis</i> (40), <i>Cer. quadrangularis</i> (40)	<i>A. quadrangularis</i> (50)

Окончание табл. 4

Год	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Верховье Северной Двины					
2013	<i>B. longirostris</i> (29)	<i>B. obtusirostris</i> (50)	<i>B. obtusirostris</i> (75)	<i>A. quadrangularis</i> (63)	<i>B. obtusirostris</i> (33), <i>A. quadrangularis</i> (33)
2014	<i>B. longirostris</i> (60)	<i>A. quadrangularis</i> (40)	<i>B. longirostris</i> (60)	<i>B. longirostris</i> (33), <i>B. obtusirostris</i> (33)	<i>B. obtusirostris</i> (60)
Нижнее течение Северной Двины					
2013	<i>C. scutifer</i> (40), <i>B. obtusirostris</i> (40—50)	<i>M. oithonoides</i> (34), <i>B. longirostris</i> (69)	<i>Cer. affinis</i> (22), <i>C. sphaericus</i> (17)	<i>B. calyciflorus</i> (50), <i>B. obtusirostris</i> (50)	<i>M. hirsuticornis</i> (50), <i>B. obtusirostris</i> (50—67)
2014	<i>C. scutifer</i> (43—44)	<i>B. longirostris</i> (25—47)	<i>Br. calyciflorus</i> (49—51)	<i>E. lacustris</i> (27—38)	—
Устье Северной Двины					
2013	<i>M. leuckarti</i> (40—33), <i>A. herricki</i> (33), <i>C. scutifer</i> (33—50), <i>A. priodonta</i> (33)	<i>M. oithonoides</i> (30—45), <i>M. leuckarti</i> (51), <i>B. longirostris</i> (54), <i>B. obtusirostris</i> (30)	<i>C. sphaericus</i> (27), <i>B. obtusirostris</i> (27), <i>Cer. affinis</i> (19—36), <i>M. oithonoides</i> (19)	<i>B. obtusirostris</i> (42—50), <i>B. longirostris</i> (37), <i>Eurytemora</i> sp. (40)	<i>M. oithonoides</i> (50—66), <i>B. obtusirostris</i> (50), <i>Br. calyciflorus</i> (50)
2014	<i>Asplanchna herricki</i> (32—35), <i>M. leuckarti</i> (35), <i>C. scutifer</i> (32), <i>A. priodonta</i> (33)	<i>B. obtusirostris</i> (30—25), <i>K. quadrata</i> (25), <i>B. longirostris</i> (32)	<i>B. obtusirostris</i> (38—40), <i>Br. calyciflorus</i> (25—32)	<i>B. obtusirostris</i> (28—60), <i>E. lacustris</i> (28—47)	<i>B. obtusirostris</i> (34), <i>B. longirostris</i> (42—53), <i>C. scutifer</i> (43)
Дельта Северной Двины					
2013	<i>K. cochlearis</i> (30), <i>C. scutifer</i> (30—61); <i>A. herricki</i> (40)	<i>M. oithonoides</i> (30), <i>E. lacustris</i> (56—83)	<i>M. oithonoides</i> (27), <i>Cer. affinis</i> (26—59)	<i>Heterocope</i> sp. (50), <i>E. lacustris</i> (40—61)	<i>Br. calyciflorus</i> (50—0), <i>M. oithonoides</i> (50), <i>B. obtusirostris</i> (60—61), <i>E. phaeratus</i> (67)
2014	<i>K. cochlearis</i> (21), <i>K. quadrata</i> (21—32), <i>A. herricki</i> (25), <i>A. vernalis</i> (25), <i>C. scutifer</i> (28), <i>Ploesoma</i> sp. (44)	<i>B. longirostris</i> (28—41), <i>E. gracilis</i> (30—41), <i>E. affinis</i> (32)	<i>B. calyciflorus</i> (41), <i>C. quadrangula</i> (20), <i>C. affinis</i> (27), <i>E. lacustris</i> (51—71)	<i>A. quadrangularis</i> (27), <i>C. scutifer</i> (29—30), <i>B. longirostris</i> (29), <i>E. lacustris</i> (18—25)	<i>C. scutifer</i> (64)

отобрано и обработано 5 проб и 4 пробы соответственно. В водах реки выявлено 24 вида зоопланктона, относящихся к таксономическим группам *Copepoda* (5 видов), *Cladocera* (14 видов), *Rotatoria* (5 видов). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов в вегетационный период за 2013—2014 гг. составил 0,90 (при $p = 0,01$). Наибольшей выравненностью и меньшей степенью доминирования отличалось зоопланктонное сообщество в 2014 г. (рис. 2).

В водах Пинеги видовое разнообразие изучалось в черте села Усть-Пинега (на середине реки) и в черте села Кулогоры (на середине реки). За вегетационные периоды 2013—2014 гг. в водах реки отобрано и обработано соответственно 5 и 9 проб. Выявлено всего 25 видов зоопланктона, относящихся

к следующим таксономическим группам: *Copepoda* (13 видов), *Cladocera* (5 видов), *Rotatoria* (7 видов). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов составил 0,86 (при $p = 0,01$). В 2014 г. по сравнению с 2013 г. зоопланктонное сообщество отличалось наибольшим видовым разнообразием, выравненностью сообщества и меньшей степенью доминирования отдельных видов. Вклад в среднегодовую численность большинства видов находился на уровне 5—8%, наибольший вклад (15%) — на *K. cochlearis*. В 2013 г. 30% общей среднегодовой численности приходился на *B. calyciflorus* (рис. 3).

Средние значения индекса Шеннона за год (табл. 4) также отражают наибольшее видовое разнообразие в 2014 г.

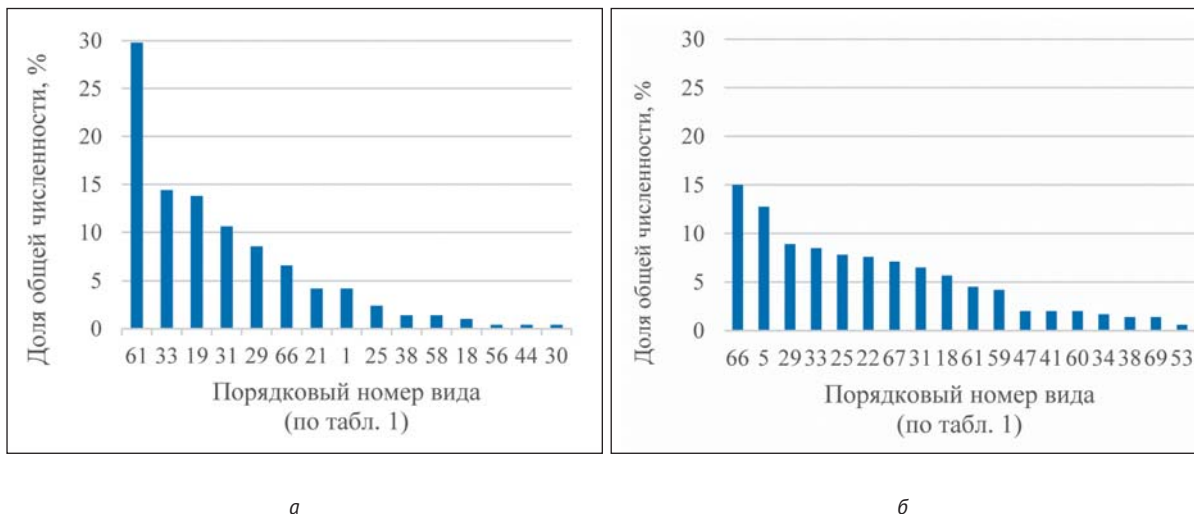


Рис. 3. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества Пинеги в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)

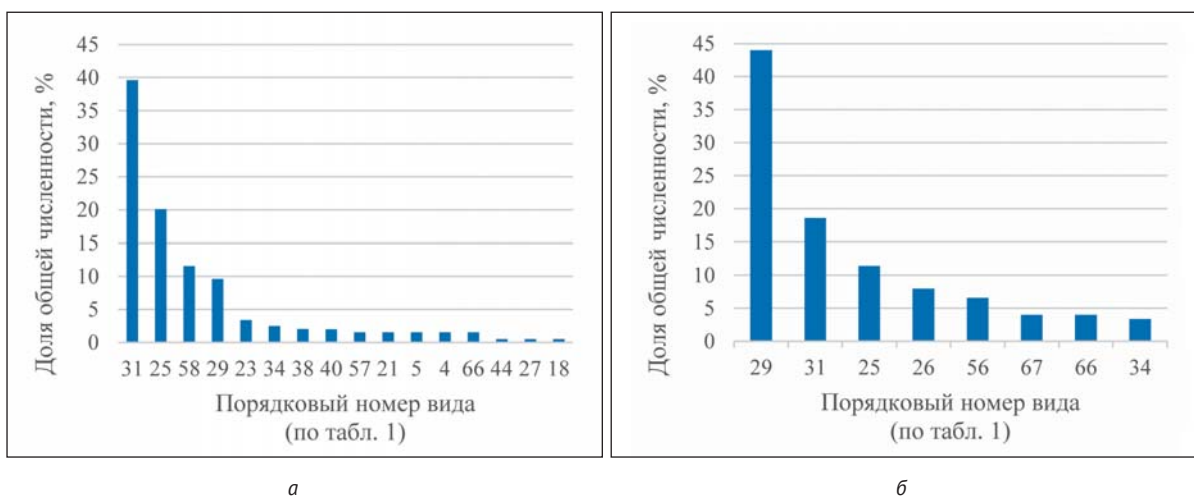


Рис. 4. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества верховья Северной Двины в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)

Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен 5 видами — *K. cochlearis*, *Cer. affinis*, *B. calyciflorus*, *B. longirostris*, *B. obtusirostris*, что подтверждается расчетами по доминированию отдельных видов (см. табл. 4). Их суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 57%.

В водах Северной Двины видовое разнообразие зоопланктонного сообщества изучалось в верховье реки — в черте Котласа (на середине реки), в нижнем течении реки — в черте села Усть-Пинега (у левого берега, у правого берега), в устье реки — в черте Архангельска (у левого берега, у правого берега) и Новодвинска (у левого берега, у правого берега), в дельте реки — в рукаве Корабельный (на середине реки), протоках Маймакса (у левого берега, у правого берега) и Кузнечиха (у левого берега, у правого берега). За вегетационные периоды 2013—2014 гг. в водах Северной Двины выявлено 65 видов зоопланктона, относящихся к таксономическим группам

Copepoda (20 видов), *Cladocera* (32 вида), *Rotatoria* (12 видов), *Branchiura* (1 вид).

В водах верховья Северной Двины за вегетационные периоды 2013—2014 гг. отобрано и обработано 10 проб. Всего обнаружено 19 таксонов зоопланктона, относящихся к следующим группам: *Copepoda* (4 вида), *Cladocera* (12 видов), *Rotatoria* (3 вида). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов за исследуемые периоды составил 0,66 (при $p = 0,05$). Наибольшее видовое разнообразие в зоопланктонном сообществе отмечалось в 2013 г. Однако выравненность сообщества существенно не менялась на протяжении 2013—2014 гг. за исключением лишь смены доминирующих видов. Так, в 2014 г. 44% общей среднегодовой численности приходилось на вид *B. longirostris*, 19% — на субдоминанту *B. obtusirostris*. В 2013 г. 40% среднегодовой численности приходилось на вид *B. obtusirostris*, 20% — на *A. quadrangularis* (рис. 4), проценты доминирования которых представлены в табл. 4.

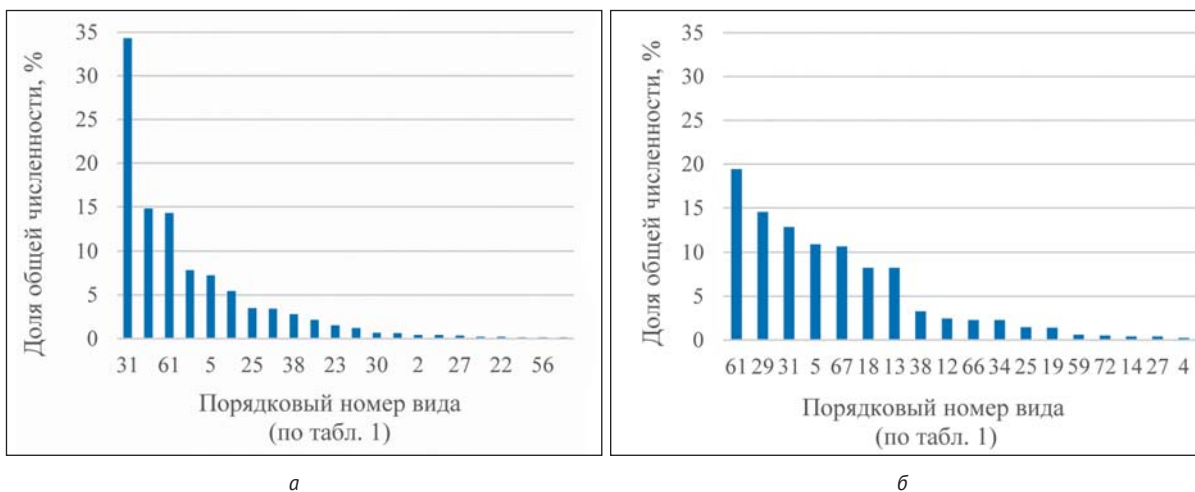


Рис. 5. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества в 2013 г. (а) и 2014 г. (б) нижнего течения Северной Двины

В 2013 г. отмечено большее видовое разнообразие по сравнению с 2014 г. (см. рис. 4), что подтверждается индексом Шеннона, значение которого в 2013 г. было выше, чем в 2014 г. Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен 3 видами — *B. obtusirostris*, *B. longirostris*, *A. quadrangularis*, что подтверждается доминированием этих видов (см. табл. 4). Их суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 71,7%.

В водах нижнего течения Северной Двины за вегетационные периоды 2013 и 2014 гг. отобрано и обработано соответственно 10 и 8 проб. Всего обнаружено 31 вид зоопланктона, относящийся к таксономическим группам *Copepoda* (10 видов), *Cladocera* (16 видов), *Rotatoria* (5 видов). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов за вегетационные периоды 2013—2014 гг. составил 0,65 (при $p = 0,01$). Исходя из средних значений количества видов и значений индекса Шеннона (см. табл. 3) и принимая во внимание доминирование вида *B. obtusirostris*, среднегодовая численность которого составляет 34% общей численности, можно говорить о схожем видовом разнообразии зоопланктонного сообщества в исследуемых годах. Однако в 2014 г. сообщество характеризовалось наибольшей выравненностью и меньшей степенью доминирования, что подтверждается невысоким вкладом (19%) в среднегодовую численность доминирующего вида *B. calyciflorus*, и относительно равным вкладом группы субдоминирующих видов (14—8%) (рис. 5б).

Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен 4 видами — *B. obtusirostris*, *B. calyciflorus*, *B. longirostris*, *C. scutifer*, что подтверждается доминированием этих видов (см. табл. 4). Их суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 72%.

В водах устья Северной Двины за вегетационные периоды 2013 и 2014 гг. отобрано и обработано

40 проб. Всего обнаружено 37 видов зоопланктона, относящихся к таксономическим группам *Copepoda* (10 видов), *Cladocera* (18 видов), *Rotatoria* (9 видов). Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов за вегетационные периоды 2013—2014 гг. составил 0,83 (при $p = 0,01$). Согласно средним значениям количества видов и значений индекса Шеннона (см. табл. 3), несмотря на доминирование вида *B. obtusirostris*, среднегодовая численность которого составляет 22% численности, наибольшее видовое разнообразие зоопланктонного сообщества наблюдалось в 2014 г.

Однако по сравнению с 2014 г. зоопланктонное сообщество в 2013 г. характеризовалось наибольшей выравненностью и меньшей степенью доминирования, что подтверждается невысоким вкладом (15—17%) в среднегодовую численность доминирующих видов *B. obtusirostris*, *M. oithonoides* и относительно равным вкладом субдоминирующих видов (9—10%) (рис. 6). Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен 5 видами — *B. obtusirostris*, *M. leuckarti*, *B. longirostris*, *C. scutifer*, *M. oithonoides*, что подтверждается доминированием данных видов (см. табл. 4). Их суммарный вклад за два года в среднегодовую численность составил 62%.

В водах дельты Северной Двины за вегетационные периоды 2013 и 2014 гг. отобраны и обработаны соответственно 25 и 21 проба. Всего обнаружено 47 таксонов зоопланктона, относящихся к систематическим группам *Copepoda* (19 видов), *Cladocera* (18 видов), *Rotatoria* (9 видов), *Branchiura* (1 вид). Наибольшее число видов (34) обнаружено в водах протока Маймакса, 30 и 26 видов насчитано соответственно в протоке Кузнечиха и рукаве Корабельный. Коэффициент корреляции Пирсона между численностью и количеством видов за вегетационные периоды 2013—2014 гг. составил 0,29 (при $p = 0,05$). Слабая связь между численностью и количеством видов объясняется особенностью

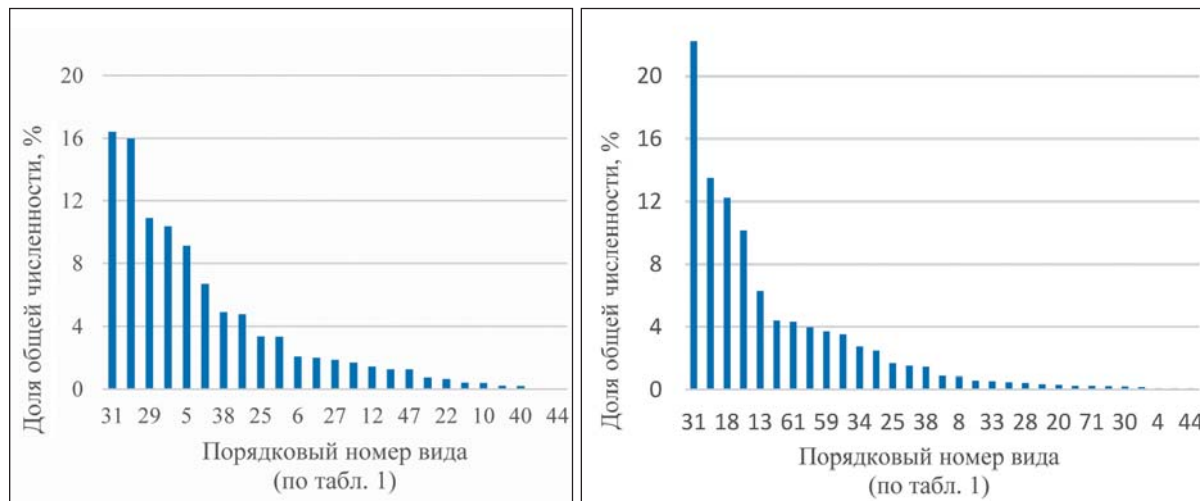


Рис. 6. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества устья Северной Двины в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)

видового состава устьевой области: при невысоком количестве (8—10) видов, численность зоопланктона достигает максимума (от 24 760 до 43 600 экз./м³) за счет развития всего двух бореально-арктических солоноватоводных видов отряда *Sorperoda*, характерных для устьевых пространств рек, — *E. lacustris*, *E. affinis*.

В соответствии со средними значениями количества видов и значений индекса Шеннона (см. табл. 3) наибольшее видовое разнообразие зоопланктонного сообщества наблюдалось в 2014 г. Наибольшая выравненность сообщества и меньшая степень доминирования видов в 2014 г. объясняются невысоким вкладом (16—14%) в среднегодовую численность основных видов: *C. scutifer*, *B. longirostris*

и относительно равным вкладом субдоминирующих видов (7—10%) (рис. 7).

В 2013 г. зоопланктонное сообщество дельты характеризовалось наименьшей выравненностью по сравнению с 2014 г. вследствие высокого вклада (27%) в среднегодовую численность доминирующего вида *E. lacustris* (рис. 8). Структурообразующий комплекс видов по численности за 2013—2014 гг. был представлен 5 видами — *E. lacustris*, *C. scutifer*, *B. longirostris*, *M. leuckarti*, *Cer. affinis*.

Заключение

Видовое разнообразие водотоков Архангельской области хорошо прослеживается с помощью кривой доминирования-разнообразия. В то же время

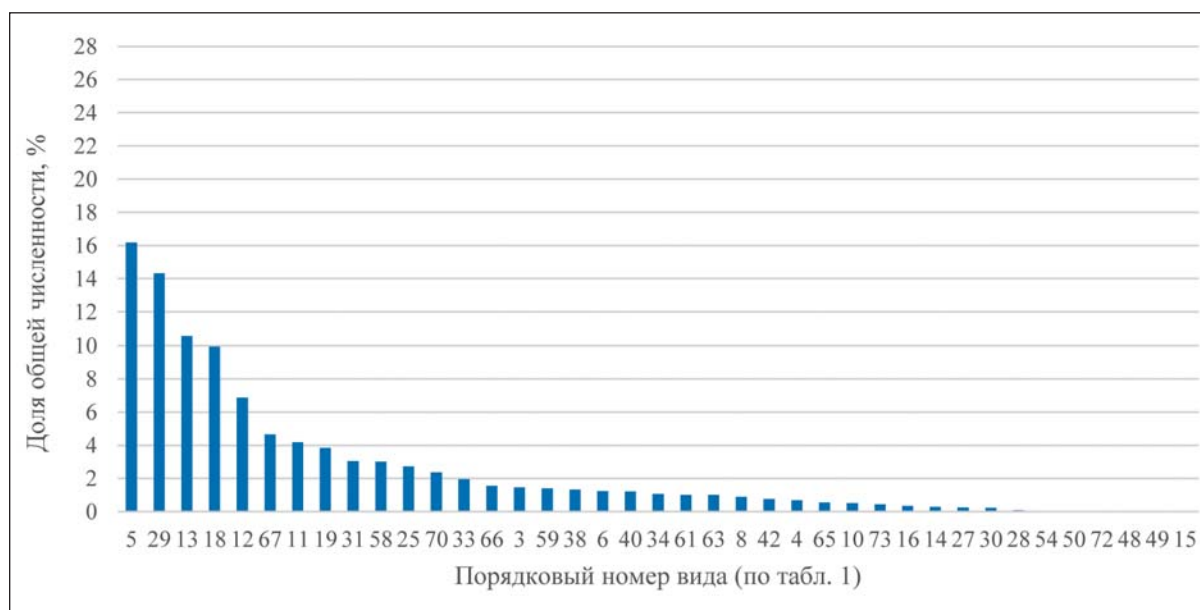


Рис. 7. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества дельты Северной Двины в 2014 г.

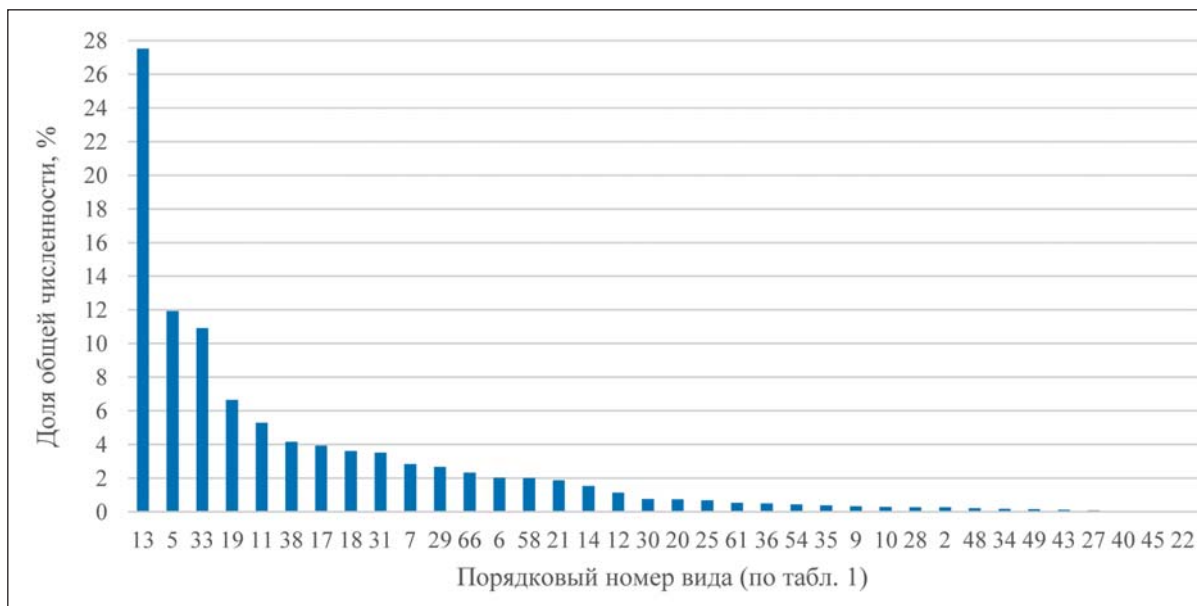


Рис. 8. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества в 2013 г. дельты р. Северной Двины

видовое разнообразие подтверждается индексом Шеннона, значения которого возрастают при большем видовом разнообразии и уменьшаются при его сокращении.

Специфика зоопланктонного сообщества водотоков Субарктики заключается в следующем:

1. Максимальная численность и видовое разнообразие сообществом достигается во второй половине лета, о чем свидетельствуют значения индекса Шеннона: максимальные значения соответствуют периоду интенсивного развития зоопланктона (июль, август) и находятся в диапазоне от 2,20 до 3,58 в 2013 г. и от 1,98 до 3,48 в 2014 г., минимальные значения приходятся на конец вегетационного периода (октябрь) и находятся в диапазоне от 1,30 до 0,91 в 2013 г. и от 1,69 до 0,92 в 2014 г.

2. По численности за 2013—2014 гг. структурообразующее ядро сообщества составляло 3—5 видов.

3. Структурообразующий комплекс сообщества формируют следующие виды: *B. obtusirostris*, *B. longirostris*, *Cer. affinis*, *Cer. quadrangularis*, *A. quadrangularis*, *C. scutifer*, *M. oithonoides*, *M. leuckarti*, *E. lacustris*, *B. calyciflorus*, *K. cochlearis*. Стоит отметить, что виды *B. obtusirostris*, *B. longirostris*, *C. scutifer* входят в структурообразующий комплекс большинства рассмотренных рек и участков Северной Двины, вид *A. quadrangularis* — для Мезени и верховья Северной Двины, вид *Cer. quadrangularis* — только для Мезени, виды *Eurytemora* — только для дельты Северной Двины. Данные виды, как отмечалось ранее, характерны для крупных рек Архангельской области [20].

4. Наблюдаются редко встречающиеся виды сообщества (средняя численность которых не

превышает 2% общей численности за два года): *A. intermedia* (отмечен только в Мезени), *A. vernalis*, *Diaptomidae sp.*, *H. uniremis*, *Heterocope sp.*, *K. longispina*, *Ploesoma sp.*, *Argulu sp.*, *E. gracialis* (отмечены только в дельте Северной Двины), *C. fennicus*, *P. truncata* (отмечены только в Онеге), *C. ovalis*, *L. kindtii* (отмечены только в нижнем течении Северной Двины), *D. longispina* (отмечен только в Пинеге), *Scapholeberis sp.*, *B. quadridentatus*, *Polyarthra sp.* (отмечены только в устье Северной Двины), *S. serrulatus* (отмечен только в верховье Северной Двины).

Индекс видового разнообразия и другие представленные в исследовании количественные и качественные характеристики применимы для оценки трофического и экологического статуса водотоков с использованием коэффициента трофии *E*, отношения числа видов индикаторов эвтрофного типа к числу видов олиготрофного типа *E/O* [22; 33; 34]. Подобного рода работу авторы планируют в будущем.

Литература

1. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 318 с.
2. Родомазова Л. В. Продукционные особенности зоопланктона как кормовой базы рыб в интенсивно эксплуатируемых рыбоводных прудах (на примере водоемов Краснодарского края): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1993. — 31 с.
3. Богатова И. Б. Рыбоводная гидробиология. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 168 с.
4. Шнем Г. И. Биологическая продуктивность рыб и других животных. — Киев: Урожай, 1968. — 92 с.

5. Естественная кормовая база выростных и нагульных прудов и пути ее улучшения (методические рекомендации). — Львов, 1984. — 31 с.
6. Воробьева Т. Я., Собко Е. И., Забелина С. А. Пространственно-временная изменчивость структуры планктонных сообществ экосистемы устья р. Северной Двины // Вестн. Север. (Аркт.) федер. ун-та. Сер. Естеств. науки. — 2010. — № 3. — С. 36—42.
7. Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2013 год. — Архангельск, 2014. — 236 с.
8. Воробьева Т. Я., Собко Е. И., Шорина Н. В., Забелина С. А. Средообразующая роль планктонных сообществ экосистемы устья Северной Двины // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. — 2010. — Т. 12, № 1 (4). — С. 920—924.
9. Макушенко М. Е., Потапов А. А., Филин Р. А. Зоопланктон как индикатор качества воды природных водотоков в районе месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова // Вестн. С.-Петерб. ун-та. — Сер. 3. Биология. — 2008. — Т. 3. — С. 17—28.
10. Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Барышев И. А. Структура и функционирование сообществ водных организмов в реках южного (Поморского) побережья Белого моря // Тр. Кольского науч. центра РАН. Прикладная экология Севера. — 2012. — № 1. — С. 109—125.
11. Козьмин А. К., Шатова В. В. Рыбохозяйственная характеристика озер Архангельской области. — Архангельск, 1997. — 80 с.
12. Дворянкин Г. А. Рыбы Кенозерского национального парка. — Архангельск: Нац. парк «Кенозерский», 2016. — 98 с.
13. Фадеева Г. В., Студенов И. И., Новоселов А. П., Митрофанова Г. С. Современное состояние зоопланктонных и зообентосных сообществ озер водораздела рек Мегра и Сояна // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2002—2003 гг. — Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. — С. 69—93.
14. Козьмин А. К., Кулида С. В., Шатова В. В. Оценка возможности товарного выращивания форели в Талтозере // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2002—2003 гг. — Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. — С. 275—284.
15. Завиша А. Г., Митрофанова Г. С., Студенов И. И., Новоселов А. П. Характеристика зоопланктона и зообентоса озер бассейна рек Мегра и Сояна по материалам 2004 года // Материалы отчетной сессии Северного филиала ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2003—2004 гг. — Архангельск, 2007. — С. 104—116.
16. Фадеева Г. В., Данилова Р. И. Зообентос и зоопланктон озера Плесецкое Архангельской области // Материалы рыбохозяйственных исследований водоемов Европейского Севера. — Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 2002. — С. 99—103.
17. Митрофанова Г. С., Новоселов А. П., Студенов И. И., Дворянкин Г. А. Зоопланктон озер // Компоненты экосистем и биоразнообразие карстовых территорий Европейского Севера России (на примере заповедника «Пинежский»). — Архангельск: Солти, 2008. — С. 302—309.
18. Козьмин А. К. Рыбные ресурсы рек и озер Европейского Северо-Востока России: их сохранение и использование. — Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2011. — 314 с.
19. Филимонова З. И. Зоопланктон приустьевоего участка и дельты реки Северной Двины // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. — Петрозаводск, 1970. — С. 111—135.
20. Гордеева Л. И. Характеристика зоопланктона и качество воды реки Онеги // Современное состояние и качество вод реки Онеги и водоемов ее бассейна. — Петрозаводск: Карельский фил. АН СССР, 1983. — С. 53—71.
21. Одум Ю. Экология. — Т. 2. — М.: Мир, 1986. — 376 с.
22. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. — СПб.: Наука, 1996. — 189 с.
23. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. — М.: Прогресс, 1980. — 327 с.
24. Подшивалина В. Н. Сравнительная оценка разнообразия фауны зоопланктона водоемов и водотоков в зависимости от природных условий // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. — 2014. — Т. 16, № 5 (5). — С. 1743—1746.
25. Подоляко С. А., Штепина Л. А. Оценка уровня биоразнообразия ихтиопланктона и зоопланктона водоемов низовьев дельты Волги // Естеств. науки. — 2013. — № 2 (43). — С. 35—44.
26. Пузнецките К. С., Марушкина Е. В. Применение индексов альфа-разнообразия зоопланктонных сообществ для оценки трофического статуса водоемов (на примере некоторых озер чебаркульской группы) // Вестн. Челяб. гос. ун-та. — 2005. — Т. 12 (1). — С. 22—25.
27. Боруцкой Е. В., Степанова Л. А., Кос М. С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. — Л.: Наука, 1991. — 504 с.
28. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. — Т. 1: Зоопланктон / Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. — М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2010. — 495 с.
29. Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. — М.; Л.: Наука, 1964. — 327 с.
30. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 511 с.
31. Рылов В. М. Cyclopoidea пресных вод. Ракообразные. Фауна СССР. — Т. 3 (3). — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — 320 с.

32. Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. — Urbana: The Univ. of Illinois Press, 1949. — 117 p.
33. Фефилова Е. Б. Состояние реки печорского бассейна после аварийного разлива нефти: оценка изменений в сообществе зоопланктона // Вод. ресурсы. — 2011. — Т. 38, № 5. — С. 593—605.
34. Фефилова Е. Б. Фаунистический обзор зоопланктона внутренних вод европейского Северо-Востока // Вестн. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. — 2009. — № 7. — С. 18—21.

Информация об авторах

Змётная Мария Ивановна, кандидат географических наук, заведующий лабораторией промышленной океанографии, ФГБНУ Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, Северный филиал (163002, Россия, Архангельск, ул. Урицкого, 17), e-mail: zmetnaya@pinro.ru.

Плакуева Марина Валерьевна, начальник лаборатории мониторинга поверхностных вод, ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (163020, Россия, Архангельск, ул. Маяковского, 2), e-mail: himvoda@arh.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Змётная М. И., Плакуева М. В. Видовое разнообразие и структура зоопланктонного сообщества водотоков Субарктики (на примере Архангельской области) // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 68—83. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-68-83.

SPECIES DIVERSITY AND STRUCTURE OF ZOOPLANKTON COMMUNITY (ON THE EXAMPLE OF THE ARKHANGELSK REGION)

Zmyotnaya M. I.

North Branch of Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Arkhangelsk, Russian Federation)

Plakueva M. V.

Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, (Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract

In our day, the impact of economic activity on the Arctic zone of the Russian Federation has increased. Therefore, a comprehensive study of these ecosystems is necessary. Role of zooplankton is particularly high in energy transformation and biotic circulation substances determining the productivity of the pond. At present, there is little data on the species diversity of the zooplankton community of watercourses the Arkhangelsk region that enters territorially into the Arctic zone of the Russian Federation. The characteristic of zooplankton community of watercourses are limited by several parameters in the literature (abundance, biomass, etc.) and by species composition. It is important to have representation of the current species diversity of the zooplankton community, that is composed of the total number of species (species richness) and uniformity (relative distribution of individuals among species). The research was carried out in the framework of the hydro-biological observations of the “Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring” in 2013-2014. Sampling and sample handling were conducted by standard methods. A comparative assessment of zooplankton communities of the Arkhangelsk watercourses was carried out using such characteristics as number of species in m^3 , abundance (specimen/ m^3), ratio of representatives of different taxonomic groups. Species diversity of zooplankton community was calculated on the basis of the Shannon diversity index for the abundance of zooplankton. We found that the species diversity of watercourses of the Arkhangelsk region is well traced by a dominant-diversity curve and confirmed by the Shannon index values, which are increasing at a greater species diversity and decrease at its contraction. For watercourses in the Arkhangelsk region, the maximum values of the Shannon index correspond to the period of intensive development of zooplankton (July, August) and are in range 2,20-3,58 in 2013 and 1,98-3,48 in 2014. The minimum values of the Shannon index correspond to the end of the growing season (October) and are in range 1,30-0,91 in 2013 and 1,69-0,92 in 2014. The structure-forming complex of the zooplankton community includes 3-5 species.

Keywords: zooplankton, abundance, species diversity, Shannon index, dominant-diversity curve, watercourses of the Arkhangelsk region.

References

1. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem. [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Pod red. V. A. Abakumova. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992, 318 p. (In Russian).

2. Rodomazova L. V. Produktsionnye osobennosti zooplanktona kak kormovoi bazy ryb v intensivno ekspluatiruemykh rybovodnykh prudakh (na primere vodоеmov Krasnodarskogo kraya) [Production features of zooplankton as a fodder base of fish in intensively exploited fishponds (on the example of water bodies in the Krasnodar Territory)]. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moscow, 1993, 31 p. (In Russian).

3. Bogatova I. B. Rybovodnaya gidrobiologiya. [Fish hydrobiology]. Moscow, Pishcheyaya prom-st', 1980, 168 p. (In Russian).

4. Shpet G. I. Biologicheskaya produktivnost' ryb i drugikh zhivotnykh. [Biological productivity of fish and other animals]. Kiev, Urozhai, 1968, 92 p. (In Russian).

5. Estestvennaya kormovaya baza vyrostnykh i nagul'nykh prудov i puti ee uluchsheniya (metodicheskie rekomendatsii). [The natural forage base of the growing and feeding ponds and ways to improve it (methodological recommendations)]. L'vov, 1984, 31 p. (In Russian).

6. Vorob'eva T. Ya., Sobko E. I., Zabelina S. A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' struktury planktonnykh soobshchestv ekosistemy ust'ya r. Severnoi Dviny. [Spatio-temporal variability of plankton community structures of the Northern Dvina river mouth ecosystem]. Vestn. Sever. (Arkt.) feder. un-ta. Ser. Estestv. nauki. 2010, no. 3, pp. 36—42. (In Russian).

7. Obzor zagryazneniya okruzhayushchei sredy na territorii deyatel'nosti FGBU «Severnoe UGMS» za 2013 god. [A survey of environmental pollution in the territory of activities "Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring" in 2013]. Arkhangel'sk, 2014, 236 p. (In Russian).

8. Vorob'eva T. Ya., Sobko E. I., Shorina N. V., Zabelina S. A. Sredoobrazuyushchaya rol' planktonnykh soobshchestv ekosistemy ust'ya Severnoi Dviny. [Environmental role of planktonic communities in mouth of Northern Dvina ecosystem]. Izv. Samar. nauch. tsentra Ros. akad. nauk, 2010, vol. 12, no. 1 (4), pp. 920—924. (In Russian).

9. Makushenko M. E., Potapov A. A., Filin R. A. Zooplankton kak indikator kachestva vody prirodnykh vodotokov v raione mestorozhdeniyaalmazov im. M. V. Lomonosova. [Zooplankton as an indicator of water quality of natural watercourses in the area of the diamond deposit named after M.V. Lomonosov]. Vestn. S.-Peterb. un-ta. Ser. 3. Biologiya, 2008, vol. 3, pp. 17—28. (In Russian).

10. Komulainen S. F., Kruglova A. N., Baryshev I. A. Struktura i funktsionirovanie soobshchestv vodnykh organizmov v rekakh yuzhnogo (Pomorskogo) poberezh'ya Belogo morya. [Structure and functioning of aquatic organisms communities in the rivers of

the southern (Pomorskii) coast of the White Sea]. Tr. Kol'skogo nauch. tsentra RAN. Prikladnaya ekologiya Severa, 2012, no. 1, pp. 109—125. (In Russian).

11. Koz'min A. K., Shatova V. V. Rybokhozyaistvennaya kharakteristika ozer Arkhangel'skoi oblasti. [Fisheries characteristics of the lakes of the Arkhangel'sk Region]. Arkhangel'sk, 1997, 80 p. (In Russian).

12. Dvoryankin G. A. Ryby Kenozerskogo natsional'nogo parka. [Fish of the Kenozersky National Park]. Arkhangel'sk, Nats. park "Kenozerskii", 2016, 98 p. (In Russian).

13. Fadeeva G. V., Studenov I. I., Novoselov A. P., Mitrofanova G. S. Sovremennoe sostoyanie zooplanktonnykh i zoobentosnykh soobshchestv ozer vodorazdela rek Megra i Soyana. [The current status of zooplankton and zoobenthos communities of the lakes of the watershed of the Megra and Soyan rivers]. Materialy otchetnoi sessii Severnogo otdeleniya PINRO po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot 2002—2003 gg. Arkhangel'sk, Izd-vo AGTU, 2005, pp. 69—93. (In Russian).

14. Koz'min A. K., Kulida S. V., Shatova V. V. Otsenka vozmozhnosti tovarnogo vyrashchivaniya foreli v Taltozere. [Estimation of the possibility of commodity trout farming in Taltoser]. Materialy otchetnoi sessii Severnogo otdeleniya PINRO po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot 2002—2003 gg. Arkhangel'sk, Izd-vo AGTU, 2005, pp. 275—284. (In Russian).

15. Zavisha A. G., Mitrofanova G. S., Studenov I. I., Novoselov A. P. Kharakteristika zooplanktona i zoobentosa ozer basseina rek Megra i Soyana po materialam 2004 goda. [Characteristics of zooplankton and zoobenthos in the lakes of the Megra and Soyan River basins according to materials from 2004]. Materialy otchetnoi sessii Severnogo filiala PINRO po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot 2003—2004 gg. Arkhangel'sk, 2007, pp. 104—116. (In Russian).

16. Fadeeva G. V., Danilova R. I. Zoobentos i zooplankton ozera Plesetskoe Arkhangel'skoi oblasti. [Zoobenthos and zooplankton of Plesetskoye Lake, Arkhangel'sk Region]. Materialy rybokhozyaistvennykh issledovaniy vodoemov Evropeiskogo Severa. Arkhangel'sk, Izd-vo "Pravda Severa", 2002, pp. 99—103. (In Russian).

17. Mitrofanova G. S., Novoselov A. P., Studenov I. I., Dvoryankin G. A. Zooplankton ozer. [Zooplankton of lakes]. Komponenty ekosistem i bioraznoobrazie karstovykh territorii Evropeiskogo Severa Rossii (na primere zapovednika "Pinezhskaia"). Arkhangel'sk, Solti, 2008, pp. 302—309. (In Russian).

18. Koz'min A. K. Rybnye resursy rek i ozer Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii: ikh sokhranenie i ispol'zovanie. [Fish resources of rivers and lakes of the European North-East of Russia: their conservation and use]. Murmansk, Izd-vo PINRO, 2011, 314 p. (In Russian).

19. Filimonova Z. I. Zooplankton priust'evogo uchastka i del'ty reki Severnoi Dviny. [Zooplankton of the estuary area and the delta of the Northern Dvina River].

Vodnye resursy Karelii i puti ikh ispol'zovaniya. Petrozavodsk, 1970, pp. 111—135. (In Russian).

20. *Gordeeva L. I.* Kharakteristika zooplanktona i kachestvo vody reki Onegi. [Characteristics of zooplankton and water quality of the Onega River]. Sovremennoe sostoyanie i kachestvo vod reki Onegi i vodoemov ee basseina. Petrozavodsk, Karel'skii fil. AN SSSR, 1983, pp. 53—71. (In Russian).

21. *Odum Yu.* Ekologiya. [Ecology]. Vol. 2. Moscow, Mir, 1986, 376 p. (In Russian).

22. *Andronikova I. N.* Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov. [Structural-functional organization of zooplankton in lake ecosystems of various trophic types]. St. Peterburg, Nauka, 1996, 189 p. (In Russian).

23. *Uitteker R.* Soobshchestva i ekosistemy. [Communities and ecosystems]. Moscow, Progress, 1980, 327 p. (In Russian).

24. *Podshivalina V. N.* Sravnitel'naya otsenka raznoobraziya fauny zooplanktona vodoemov i vodotokov v zavisimosti ot prirodnykh uslovii. [Comparative reservoirs and rivers zooplankton fauna diversity assessment on the dependence of nature factors]. Izv. Samar. nauch. tsentra Ros. akad. nauk, 2014, vol. 16, no. 5 (5), pp. 1743—1746. (In Russian).

25. *Podolyako S. A., Shtepina L. A.* Otsenka urovnya bioraznoobraziya ikhtioplanktona i zooplanktona vodoemov nizov'ev del'ty Volgi. [The measure of level biodiversity of ichthyoplankton and zooplankton of water of Volga river delta lowlands]. Estestv. nauki, 2013, no. 2 (43), pp. 35—44. (In Russian).

26. *Puznetskita K. S., Marushkina E. V.* Primenenie indeksov al'fa-raznoobraziya zooplanktonnykh soobshchestv dlya otsenki troficheskogo statusa vodoemov (na primere nekotorykh ozer chebarkul'skoi gruppy). [Applying of alpha-diversity indices of zooplankton communities for assessing the trophic status of water bodies (on the example of some lakes of the Chebarkul

group)]. Vestn. Chelyab. gos. un-ta, 2005, vol. 12 (1), pp. 22—25. (In Russian).

27. *Borutskoi E. V., Stepanova L. A., Kos M. S.* Opredelitel' Calanoida presnykh vod SSSR. [Determinant of Calanoida of fresh waters of USSR]. Leningrad, Nauka, 1991, 504 p. (In Russian).

28. Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. Vol. 1: Zooplankton. [Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh water in European Russia. Vol. 1: Zooplankton]. Pod red. V. R. Alekseeva, S. Ya. Tsalolikhina. Moscow, Tovarishchestvo nauch. izd. KMK, 2010, 495 p. (In Russian).

29. *Manuilova E. F.* Vetvistousye rachki fauny SSSR. [Cladocerans (Cladocera) fauna of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka, 1964, 327 p. (In Russian).

30. Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeiskoi chasti SSSR. [Determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 511 p. (In Russian).

31. *Rylov V. M.* Cyclopoida presnykh vod. Rakobraznye. Fauna SSSR. Vol. 3 (3). [Freshwater Cyclopoida. Crustacea. Fauna of the USSR. Vol. 3 (3)]. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1948, 320 p. (In Russian).

32. *Shannon C. E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. Urbana: The Univ. of Illinois Press, 1949, 117 p.

33. *Fefilova E. B.* Sostoyanie reki pechorskogo basseina posle avariinogo razliva nefti: otsenka izmenenii v soobshchestve zooplanktona. [State of the Pechora Basin after an oil spill: assessment of changes in the zooplankton community]. Vod. resursy, 2011, vol. 38, no. 5, pp. 593—605. (In Russian).

34. *Fefilova E. B.* Faunisticheskiy obzor zooplanktona vnutrennikh vod evropeiskogo Severo-Vostoka. [Faunistic survey of zooplankton of inland waters of the European North-East]. Vestn. In-ta biologii Komi NTs UrO RAN, 2009, no. 7, pp. 18—21. (In Russian).

Information about the authors

Zmyotnaya Mariya Ivanovna, PhD in Geographical Sciences, head of laboratory, North Branch of Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (FSBSI "PINRO") (17, Uritskiy st., Arkhangelsk, Russia, 163002), e-mail: zmetnaya@pinro.ru.

Plakueva Marina Valer'evna, head of laboratory, Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2, Mayakovskiy st., Arkhangelsk, Russia, 163020), e-mail: himvoda@arh.ru.

Bibliographic description

Zmyotnaya M. I., Plakueva M. V. Species diversity and structure of zooplankton community (on the example of the Arkhangelsk region). Arctic: ecology and economy, 2018, no. 1 (29), pp. 68—83. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-68-83. (In Russian).