

Зоопланктон реки Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства

О. Н. КОНОНОВА

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: kon@ib.komisc.ru

Статья поступила 27.04.2021

После доработки 20.05.2021

Принята к печати 03.06.2021

АННОТАЦИЯ

В результате проведенных исследований изучены состав и структура планктонных сообществ р. Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства. На исследованном отрезке реки в зоопланктоне установлены богатый видовой состав и количественное развитие зоопланктона. В сообществах по обилию видов, численности и биомассе преобладали коловратки, что характерно для водотока в целом. Виды-индикаторы вод с высоким уровнем загрязнения найдены как в пунктах, расположенных непосредственно в зоне влияния условно чистых сточных вод, так и на фоновых участках реки. В пунктах сброса сточных вод найдены виды, не свойственные ее естественным водам. Ведущие комплексы представлены 9–15 видами. Состав их различался на фоновых участках, у стоков и пунктах, расположенных ниже по течению. Показано, что по состоянию планктонных сообществ в целом воды реки можно охарактеризовать как олиготрофные, за исключением пунктов, расположенных ниже по течению от сброса очищенных сточных вод, где они квалифицируются как эвтрофные.

Ключевые слова: сточные воды, планктонные сообщества, тепловое загрязнение, виды-индикаторы

Река Вычегда – вторая по величине водная система Республики Коми и главный приток р. Северной Двины – испытывает большую антропогенную нагрузку. Сельскохозяйственные, бытовые и в большей мере промышленные сточные воды в настоящее время являются одними из основных источников загрязнения ее вод [Государственный доклад..., 2014]. Среди многочисленных предприятий, функционирующих на ее берегах, самое крупное – АО “Монди СЛПК” – крупнейший в России целлюлозно-бумажный комбинат, водоочистные сооружения которого ежегодно очищают и сбрасывают в р. Вычегда свыше 80 млн м³ сточных вод в год [Бату-

рина, Кононова, 2021]. Благодаря масштабной модернизации очистных сооружений, завершенной в 2019 г., сточные воды предприятия соответствуют требованиям, предъявляемым к водоемам рыбохозяйственного назначения. Тем не менее, кроме содержания в своем составе загрязняющих веществ, отработанные воды целлюлозно-бумажных предприятий характеризуются повышенной температурой, вследствие чего даже очищенные сточные воды, попадая в водоток, приводят к его тепловому загрязнению. В русле р. Вычегда установлено повышение температурных показателей в точках сброса отработанных вод АО “Монди СЛПК” на 9–10 °С,

продолжительное влияние которых прослеживается до 15 км ниже по течению [Елсаков, Щанов, 2016]. Последние мониторинговые работы по оценке влияния стоков целлюлозно-бумажного производства на речные сообщества были проведены более 30 лет назад, в 1989 г., что и определило цель наших исследований: изучить состав и структуру зоопланктона р. Вычегда в зоне влияния сточных вод целлюлозно-бумажного производства; по состоянию планктонных сообществ оценить современное состояние реки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы зоопланктона отбирали в июле с 2018 по 2020 г. на отрезке реки между Эжвинским районом г. Сыктывкара и ниже д. Усть-Пожег на шести гидробиологических разрезах (далее пунктах (п.)), описание которых можно найти в [Патова и др., 2021]: вниз по течению – I – непосредственно в зоне влияния очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства (АО “Монди СЛПК”) у г. Сыктывкара, р-н Эжва (в этом пункте в реку поступают теплые отработанные сточные воды, участвующие в системе охлаждения оборудования предприятия), II – в 22,8 км ниже по течению от п. I (у д. Коччойяг), III – в 6,4 км от п. II (у д. Слуда), IV – в 8,4 км от п. III, у д. Гавриловки, непосредственно в зоне влияния очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК” (стоки, образующиеся при производстве целлюлозы, городские стоки и стоки близлежащих промышленных предприятий, прошедшие биологическую очистку на очистных сооружениях), V – в 11,8 км от п. IV (у д. Сочемвыв) и VI – в 5,5 км от п. V (у с. Усть-Пожег). На двух из них – I и IV – пробы отбирали ежегодно, в п. III – в 2018 и 2019 гг., на остальных были осуществлены разовые сборы.

Для сравнения этих данных с фоновыми показателями использовались сведения по количественным пробам зоопланктона, отобраным в июле 2016 г. на р. Вычегда в 79 и 62 км выше пункта отбора I, условно обозначенных как f1 и f2. Русло реки здесь извилисто. Коренной берег высокий, обрывистый, поросший сосновым лесом, а ближе к воде – ивняком. Левый намывной, образует мелководные песчаные косы. Средние значения температуры воздуха в июле 2016 г. составляли 19,9 °С и со-

ответствовали таковым в июле 2018 и 2020 гг. Температура воды варьировала от 24,5 °С в медиали до 26,7 °С – в ритралах, скорость течения – 0,5 и 0,1 м/с соответственно. Грунт песчаный, в пункте f2 – песчаный с наилком. Вдоль правого берега в пункте f2 присутствовали разреженные заросли, представленные *Carex* sp. и *Alisma plantago-aquatica* L. Содержание растворенного в воде кислорода варьировало от 7,7 до 9 мг/л, активная реакция среды – от 7,4 до 8, максимальная прозрачность воды – 1,2 м.

Пробы собирали посредством фильтрации 100 л воды через планктонную сеть Апштейна (газ № 70). Их камеральную обработку осуществляли в лабораторных условиях по стандартным методикам [Методика..., 1975; Кононова, Фефилова, 2018].

Для полноты учета фауны все найденные в пробах виды, независимо от их экологических характеристик, относили к зоопланктону [Протасов, 2011]. Старшевозрастных копепоидов определяли до вида и учитывали вместе со взрослыми животными того же вида, копепоидов младших возрастов и науплиусов не идентифицировали и учитывали как отдельный таксон.

Нормальность распределения количественных показателей развития организмов в выборках проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка (W). Так как распределение показателей отличалось от нормального ($p > 0,05$), для описания данных мы использовали непараметрические методы статистического анализа: для определения средних показателей рассчитывали медиану, достоверность различий выборок определяли при помощи U-критерия Манна – Уитни [Лакин, 1990; Шитиков, 2005]. Доминантные комплексы выделяли с использованием индекса доминирования Паляя – Ковнацки (D_i) [Шитиков, 2005].

Для оценки биологического разнообразия зоопланктона были использованы индексы: Шеннона – Уивера, рассчитанного по численности (H_N), и доминирования Симпсона (D). Трофность вод оценивали по индексу Шеннона – Уивера, рассчитанного по биомассе (H_B), и показателю N_{Clad}/N_{Cop} [Андроникова, 1996]. Уровень сапробности вод определяли при помощи индекса сапробности (S), рассчитанного по формуле Пантле – Букка в моди-

фикации Сладечека [Макрушин, 1974; Унифицированные методы ..., 1977].

Для выполнения кластерного анализа применяли метод Варда, в качестве меры различия между кластерами использовали евклидово расстояние. В узлах дендрограммы приведены значения ($\geq 50\%$) бутстреп-поддержки. Поддержку узлов дендрограммы оценивали с помощью бутстреп-процедуры (1000 реплик) [Шитиков, Розенберг, 2013]. Дендрограмму строили с применением программы PAST [Hammer et al., 2001].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего за период исследований в русле р. Вычегда найдено 115 таксонов планктонных организмов [Копонова, 2021], в том числе 69 – коловраток (Rotifera), 34 – ветвистоусых раков (Cladocera) и 12 – веслоногих раков (Copepoda). Максимальное видовое богатство зарегистрировано в пунктах I и IV (86 и 88 соответственно), т. е. непосредственно в зоне влияния сточных вод АО “Монди СЛПК” (рис. 1). Ниже по течению, к пунктам II и V богатство зоопланктона снижалось втрое и далее по течению возрастало вновь к п. VI, достигая значений, близких к фоновым, в п. III. На всем отрезке реки, включая фоновые участки, в планктонной фауне преобладали коловратки, составляя от 59 до 72%. Во всех исследованных пунктах реки отмечены: *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Chydorus sphaericus*, *Bosmina (Bosmina) longirostris*, *Synchaeta pectinata*, *Polyarthra major*, *Asplanchna priodonta*, *Euchlanis dilatata* и *Filinia longiseta*. Из видов, найденных нами только в пунктах I и IV, можно выделить *Megacyclops viridis* (Jurine), *Moina macrocopa* (Straus), *Alona intermedia* (Sars), *Flavalona costata* (Sars), *Leydigia (Leydigia) leydigi* (Schoedler), *Leptodora kindtii* (Focke), *Eosphora thoides* (Wulfert), *Trichocerca (Diurella) ruttneri* Donner, *T. (D.) porcellus* (Gosse), *T. (s. str.) agnata* Wulfert, *Asplanchna herricki* Guerne, *Lecane (Monostyla) arcuata* (Bryce), *Proales* sp., *Trichotria pocillum* var. *bergi* (Meissner), *Brachionus calyciflorus* f. *amphicerus* Ehrenberg, *B. c. f. anuraeiformis* Brehm, *Notholca squamula squamula* (Müller).

В составе планктонных сообществ общее количество видов-индикаторов от общего числа найденных таксонов варьировало от 79

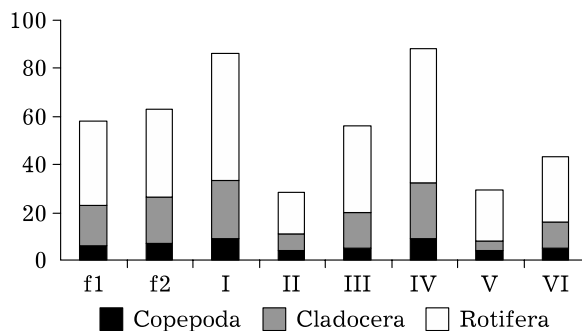


Рис. 1. Таксономическое богатство в группах зоопланктона на исследованном отрезке р. Вычегда. Здесь и на рис. 2 по оси ординат – число таксонов; по оси абсцисс – обозначения пунктов отбора. Здесь и далее: количество отобранных проб: I – 9, II – 1, III – 2, IV – 8, V – 1, VI – 2, f1 – 3 и f2 – 3

до 90%, из них 41–50% на фоновых и 44–56% – в пунктах I – VI составляли олигосапробионты (рис. 2). Виды-индикаторы вод с высоким уровнем загрязнения, α - и α - β -мезосапробионты, были найдены как в пунктах I, III и IV, так и на фоновых участках реки. Максимальное количество видов-индикаторов было зарегистрировано в пунктах I и IV (см. рис. 2).

Количественные показатели развития зоопланктона варьировали в широких пределах (рис. 3). В планктонных сообществах на всех участках преобладали коловратки, формируя в среднем 71–92% численности и 49–87% биомассы.

Доминантные комплексы представлены 9–18 таксонами, 75–94% которых составляли субдоминанты (табл. 1). Доминировали 1–3

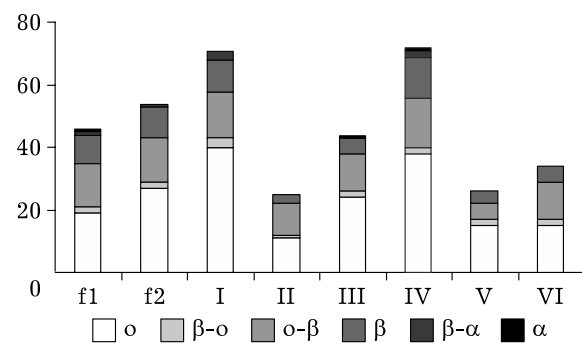


Рис. 2. Соотношение видов-индикаторов сапробиальности вод на исследованном отрезке р. Вычегда. По оси абсцисс: o – олигосапробиальные виды, β -o – бета-олигосапробиальные, o- β – олиго-бетасапробиальные, β – бетасапробиальные, β - α – бета-альфасапробиальные и α – альфасапробиальные.

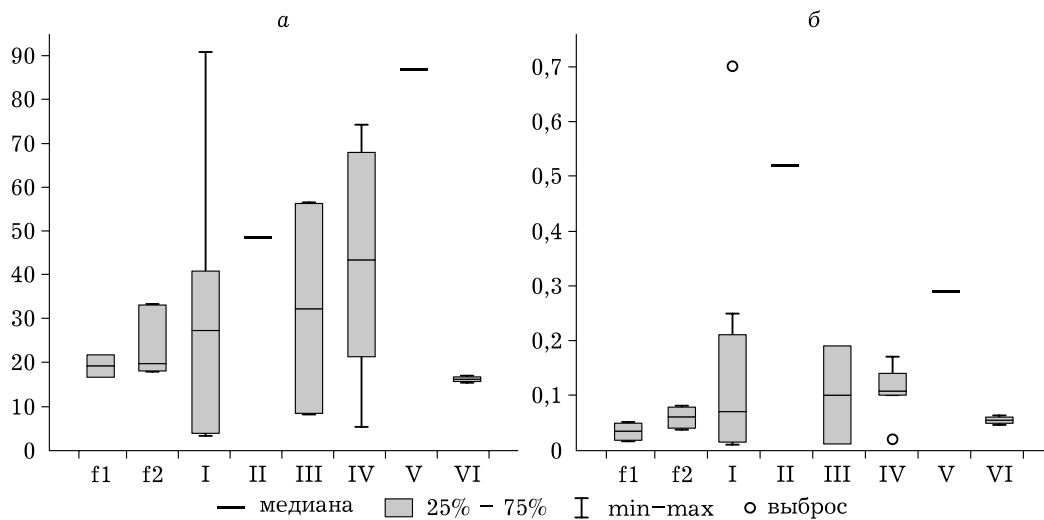


Рис. 3. Диапазон численности (а, тыс. экз./м³) и биомассы (б, г/м³) зоопланктона на исследованном отрезке р. Вычегда

Т а б л и ц а 1
Состав доминантных комплексов зоопланктона в пунктах отбора проб исследованного отрезка р. Вычегда в июле 2018–2020 гг.

Таксон	Пункт									
	S	f1	f2	I	II	III	IV	V	VI	
Nauplius + Copepodit	-	+	+Д	+	+	+	+	+	+	
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch)	-	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller)	β	+	-	+	-	-	+	-	-	
<i>Bosmina (Bosmina) longirostris</i> (O. F. Müller)	o-β	+	+Д	+Д	+	+	+	+	+	
<i>B. (Eubosmina) cf. longispina</i> Leydig	o	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Trichocerca</i> (s. str.) <i>cylindrica</i> (Imhof)	o	-	-	+	+	+	+	+	-	
<i>T. (Diurella) similis</i> (Wierzejski)	o	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. (D.) tenuior</i> (Gosse)	o	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Synchaeta oblonga</i> Ehrenberg	β	-	-	-	-	+	-	-	+Д	
<i>S. pectinata</i> Ehrenberg	β-o	+	-	+Д	+Д	+Д	+	+Д	+Д	
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson	o-β	-	-	-	+	-	-	-	+	
<i>P. euryptera</i> Wierzejski	o	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>P. longiremis</i> Carlin	o	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>P. luminosa</i> Kutikova	o-β	-	+	+	-	+	+	-	-	
<i>P. major</i> Burckhardt	o	+	+	-	+	+	-	-	+	
<i>P. remata</i> Skorikov	o	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>P. vulgaris</i> Carlin	β	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	o-β	-	+	+	+Д	+Д	+	+	+	
<i>Lecane</i> (s. str.) <i>luna</i> (Müller)	o-β	+	+	-	-	-	+	-	-	
<i>Trichotria pocillum</i> (Müller)	o	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	o-β	-	+	+	+	-	+Д	-	+Д	
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	β-α	-	+	+	-	-	+	-	-	
<i>B. bennini</i> Leissling	β	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>B. diversicornis</i> (Daday)	β	+	-	+	-	-	+	-	-	
<i>B. quadridentatus</i> Hermann	o-β	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	β-o	+	+	-	-	-	+	-	+	
<i>K. irregularis</i> (Lauterborn)	o	-	-	+	+	+	-	+	-	
<i>K. quadrata</i> (Müller)	o-β	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>K. valga</i> (Ehrenberg)	o-β	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Testudinella patina</i> (Hermann)	o	+	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	β	+Д	+Д	+Д	+	+	+Д	+	+	
<i>Conochiloides coenobasis</i> Skorikov	o	-	-	-	+	+	-	-	-	
<i>Bdelloida</i>	-	+	+	-	+	-	+	-	-	

П р и м е ч а н и е. S – сапробность; “+” – таксон входил в состав доминантных комплексов зоопланктона в качестве субдоминанта ($1 < D_i < 10$); “-” – таксон не входил в состав доминантных комплексов; д – доминирующий вид ($10 < D_i < 100$).

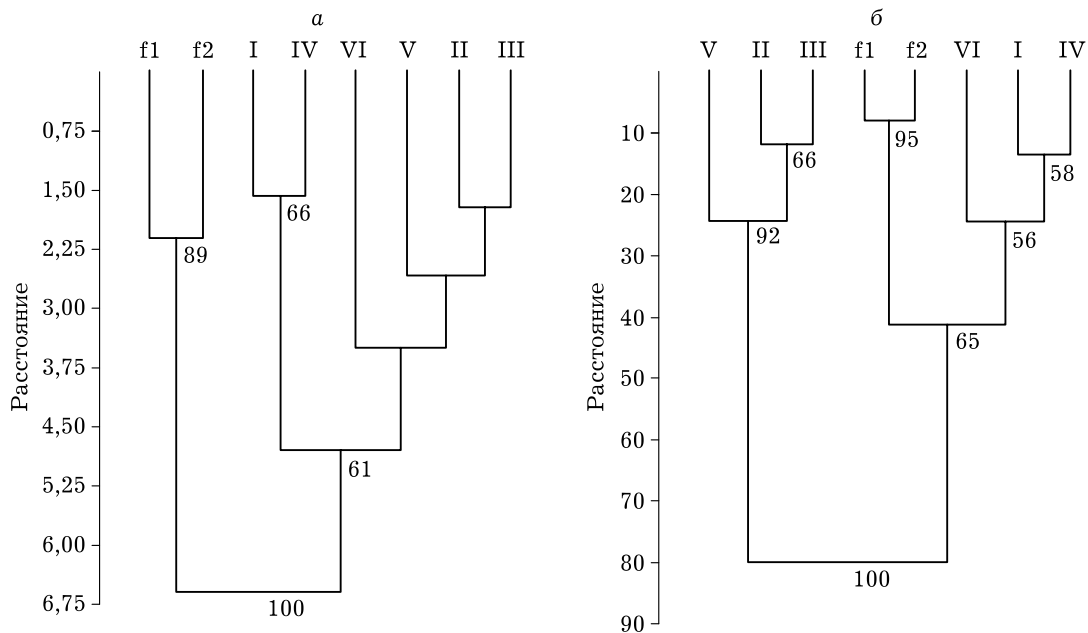


Рис. 4. Дендрограммы сходства доминантных комплексов зоопланктона на исследованном отрезке р. Вычегда: а – по качественному составу, б – по индексу доминирования Палия – Ковнацки

вида. На исследованном отрезке реки условно можно выделить три ведущих комплекса зоопланктона, характерных для фоновых участков и пунктов, расположенных на разном удалении от источников влияния (рис. 4).

Планктонные сообщества реки в целом характеризовались высоким разнообразием (рис. 5). На фоновых участках эти показатели были выше, однако достоверно выше (при $p < 0,05$) они были только по сравнению с п. III (по H_N и H_B), с I и IV (по H_B). Достоверно ниже (при $p < 0,05$) в сравнении с п. III на фоновых участках был уровень доминирования. В пунктах, расположенных вниз по течению от точек сброса очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного комбината (II и V), наблюдали снижение видового разнообразия и рост уровня доминирования.

Высокие показатели индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе (рис. 5, б) на фоновых участках, в пунктах I, IV и VI свидетельствовали об их благополучном состоянии (олиготрофные воды), в то время как пункты II и V по состоянию планктонных сообществ характеризовались как наиболее загрязненные и соответствовали эвтрофным водам [Андроникова, 1996]. Вместе с тем, согласно полученным значениям показателя

N_{Clad}/N_{Cop} , наиболее высокая степень трофности вод (эвтрофные), напротив, была отмечена в п. IV [Там же], однако его значения здесь достоверно отличались (при $p < 0,02$) только от фоновых участков. Согласно рассчитанным значениям индекса сапробности воды р. Вычегда на всех исследованных участках соответствовали слабо загрязненным (средние значения S варьировали в пределах 1,5–1,6) [Руководящий документ..., 2016].

Годовая динамика планктонных сообществ в пунктах, расположенных в непосредственной близости от поступающих в реку очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК”, различалась. В п. I показатели количественного развития зоопланктона, его разнообразия и структуры в близкие по погодным условиям годы (2018, 2020 гг.) варьировали незначительно (табл. 2). В более холодный и многоводный 2019 г. происходило достоверное (при $p < 0,05$) снижение показателей численности и биомассы зоопланктона в сравнении и с 2018, и с 2020 г., а также показателя N_{Clad}/N_{Cop} . В более теплые годы, особенно 2020, наблюдали увеличение количества видов-индикаторов β - α -мезосапробных условий за счет теплолюбивых *Brachionus diversicornis diversicornis* (Daday), *B. d. f. homoceros*

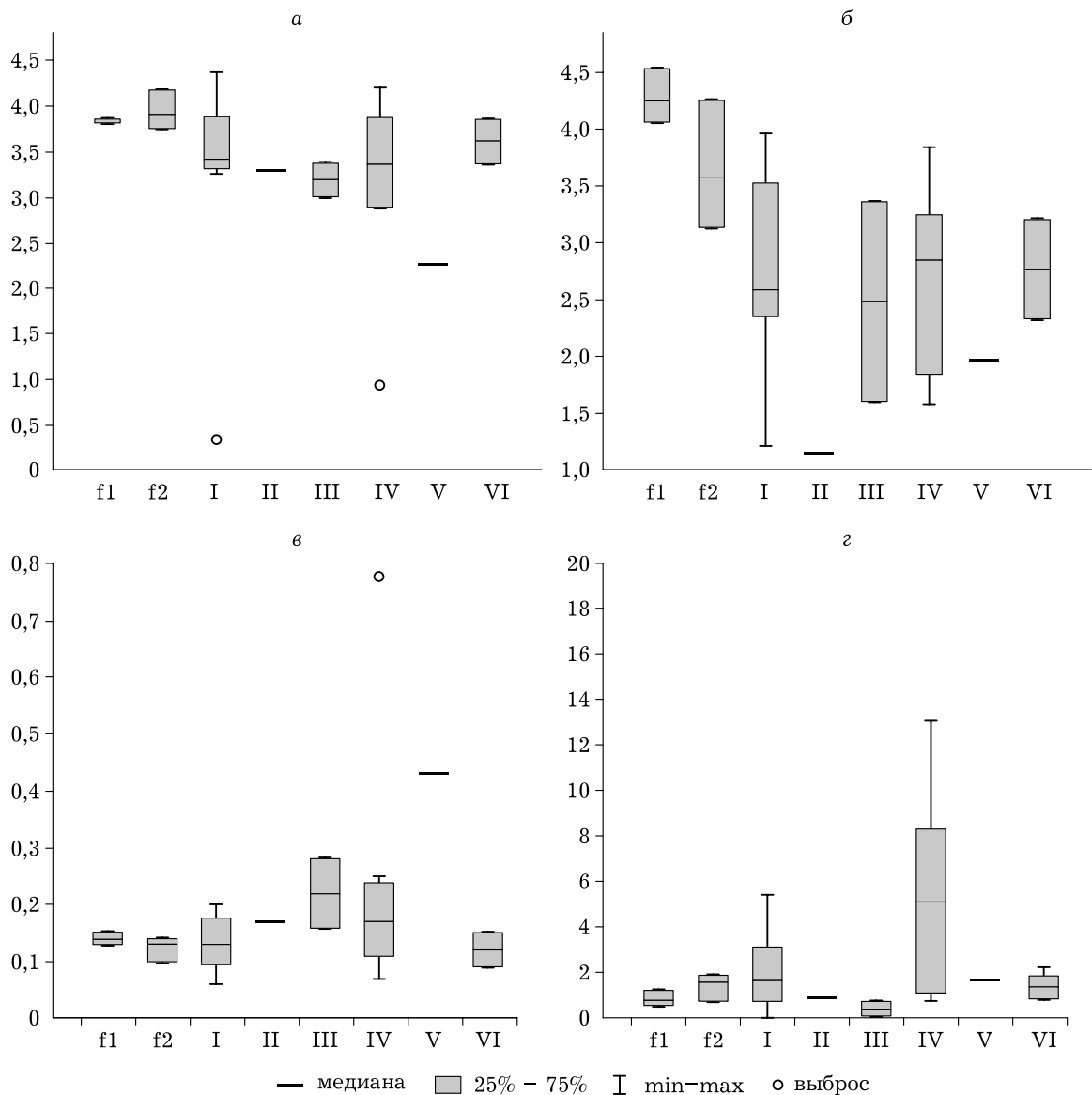


Рис. 5. Диапазон значений индексов: Шеннона, рассчитанного по численности (а) и биомассе (б), Симпсона (в) и показателя N_{Clad}/N_{Cop} (г) на исследованном отрезке р. Вычегда

(Wierzejski), *B. calyciflorus* f. *amphiceros*, *B. c. f. anuraeiformis*, *B. angularis* и *B. bennini*. Несмотря на то что воды реки в этом пункте во все годы исследований по рассчитанным значениям S можно было отнести к слабо загрязненным, в 2020 г. уровень сапробности вод здесь был достоверно выше (при $p < 0,05$), чем в 2018, 2019 гг. (см. табл. 2).

В пункте IV вне зависимости от погодных условий наблюдали ежегодное увеличение численности зоопланктона, его разнообразия (см. табл. 2). Однако менее благоприятные условия 2019 г. способствовали структурной перестройке планктонных сообществ – увеличе-

нию уровня доминирования, обусловленного лидированием в планктоне одного вида (см. табл. 2). Как и в п. I, в 2020 г. здесь находили виды, индицирующие высокую степень загрязнения: *Brachionus diversicornis diversicornis*, *B. calyciflorus* f. *amphiceros*, *B. angularis* и, наряду с ними, *B. bennini*, однако их доля в численности животного планктона была ниже, чем в п. I. Достоверных отличий в изменении показателя N_{Clad}/N_{Cop} выявлено не было, однако его значения здесь в 2020 г. были максимальными (см. табл. 2) и свидетельствовали, как и в п. I, об эвтрофных условиях.

Показатели развития зоопланктона в русле р. Вычегда в пунктах, испытывающих непосредственное влияние сточных вод АО “Монди СЛПК”.

Показатель	I			IV		
	2018 (n = 3)	2019 (n = 3)	2020 (n = 3)	2018 (n = 2)	2019 (n = 2)	2020 (n = 4)
N , тыс. экз./м ³	31,3	3,5	29,4	24,0	39,1	48,6
B , г/м ³	0,170	0,012	0,070	0,102	0,062	0,129
H_N	3,4	3,9	3,4	2,9	2,6	3,5
H_B	2,6	2,5	3,5	1,9	2,4	3,1
D	0,19	0,10	0,14	0,22	0,43	0,15
$N_{Clad}/N_{Cор}$	1,7	0,4	2,8	1,4	2,0	8,0
S	1,46	1,48	1,70	1,50	1,50	1,64
Доминанты (D_i)	Syn (27,3) Asp (11,0)	N + C (24,6) Syn (12,6)	Fil (24,6) Bra (17,6)	Syn (40,9) Asp (15,9)	Euc (82,9)	Fil (21,9) Bos (13,6)
Количество субдоминантных таксонов	12	11	9	7	6	11

П р и м е ч а н и е. n – число проб; Syn – *Synchaeta pectinata*; Asp – *Asplanchna priodonta*; N + C – *nauplius* + *сoреpodit* Cyclopoida; Fil – *Filinia longiseta*; Bra – *Brachionus angularis*; Euc – *Euchlanis dilatata*; Bos – *Bosmina (B.) longirostris*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Зоопланктон на исследованном отрезке р. Вычегда, подверженном влиянию условно очищенных и очищенных сточных вод ЦБП, отличался высоким видовым разнообразием, всего за 2018–2020 гг. выявлено 115 таксонов. С момента проведения первых работ, направленных на изучение состава зоопланктона реки на этом участке [Барановская, 1969], к настоящему времени можно отметить постепенное обогащение планктонной фауны видами-индикаторами вод с высоким уровнем загрязнения. И если такие виды, как *Eucyclops (Eucyclops) serrulatus* (Fischer), *Chydorus sphaericus*, оба подвида *Brachionus diversicornis* и *B. angularis*, по-видимому, являются здесь обычными компонентами зоопланктона реки (встречаются в пробах с начала исследований в 1968 г.), то *Polyarthra vulgaris*, *B. calyciflorus f. anuraeiformis*, *B. bennini* и *Filinia longiseta* стали отмечать с 1989 г. (материалы Ю. В. Лешко), *Brachionus nilsoni* – с 2004 г. [Кононова, 2009а], а *Moina macrocора*, *Leydigia leydigi*, *Synchaeta oblonga*, *B. calyciflorus f. amphicerus* и *Hexarthra mira* (Hudson) – с 2018–2020 гг. Большую часть из них можно отнести к комплексу специфических теплолюбивых видов [Кутикова, 1970; Пидгайко, 1984], появление и устойчивое развитие которых на этом участке реки может быть связано в том числе и с повышен-

ным температурным фоном ее вод в результате теплового влияния [Елсаков, Щанов, 2016].

Из перечисленных видов особый интерес вызывает находка в 2018 г. в п. I α -мезосапробионта *Moina macrocора*. В естественных водоемах бассейна р. Вычегда этот вид отмечен впервые. Первые находки его были зафиксированы нами в 2015 г. в сточном канале АО “Монди СЛПК”, воды которого попадают в р. Вычегда в п. IV. По данным [Мануйлова, 1964; Смирнов, 1976], это теплолюбивый, обычный в Палеарктике вид, обитающий в небольших, часто временных водоемах. Благодаря устойчивости вида к изменению содержания в воде кислорода и колебаниям температуры от 5 до 32 °С (критический порог составляет от 41 до 43 °С), способен обитать в городских очистных сооружениях [Набережный, 1968].

Показатели количественного развития планктонных сообществ по продольному профилю реки варьировали значительно, достигая максимальных значений в пунктах, расположенных ниже по течению от пунктов сброса сточных вод предприятия. Доминировали в планктоне коловратки, что характерно для водотока в целом [Кононова, 2009а]. Состав доминантных комплексов не претерпел существенных изменений по сравнению с данными предыдущих исследований [Там же]. Как на фоновых участках, так и на отрезке реки,

подверженной влиянию очищенных стоков АО “Монди СЛПК”, доминировали виды-индикаторы вод с различной степенью сапробности.

Исследование достаточно протяженного участка реки позволило нам выявить некоторые закономерности в распределении зоопланктона. На фоновых участках численность и биомасса зоопланктона, его видовое разнообразие были обычными для водотока, его естественных биотопов [Кононова, 2009б]. Доминантные комплексы отличались своеобразием не только качественного состава, но и распределением видов. На благополучное состояние водотока здесь указывали высокие показатели разнообразия планктонных сообществ и низкие значения уровня доминирования.

Среди пунктов, расположенных на разном удалении от непосредственного влияния сточных вод целлюлозно-бумажного комбината, большие изменения в планктонных сообществах в сравнении с фоновыми были установлены в 22,8 и 29,2 км ниже по течению от п. I (пункты II и III), и 11,8 км ниже по течению от п. IV (п. V). В этих пунктах была отмечена тенденция к росту количественных показателей и снижению видового разнообразия. Количество доминирующих видов, как и на остальных участках, здесь было невелико, однако их доля в сообществах варьировала в пределах 51–65 % (по D_i), что, соответственно, нашло отражение и в показателях уровня доминирования в них. Все вышечисленное позволяет нам предположить о менее благополучных условиях в этих пунктах в сравнении с остальными.

Подобное пролонгированное воздействие сточных вод, по-видимому, характерно для речных сообществ и, вероятно, связано с поступлением со сточными водами в водоток соединений фосфора, азота и органических веществ, приводящим к росту первичной продукции и, как следствие, увеличению продуктивности пищевых цепей в целом [Алимов, 1989; Hall et al., 1991; Bothwell, 1992; Dubè et al., 1997]. Этот эвтрофирующий эффект особенно важен для олиготрофных рек [Culp et al., 2000], к которым относится большинство северных рек, в том числе и р. Вычегда. Сходные эффекты наблюдали при изучении влияния сточных вод Котласского ЦБК в нижнем течении р. Вычегда [Герасимова, 1992], Архангельского и Соломбальского ЦБК

в устьевой области р. Северной Двины [Воробьева и др., 2010], а также на р. Латроб (Австралия) [Harris et al., 1992].

Несмотря на малое количество исследований, проведенных непосредственно в пунктах II и V, на данном этапе изучения влияния сточных вод АО “Монди СЛПК” на водоток, очевидно, что выраженность этих эффектов в них отличалась. Мы предполагаем, что связано это с разным типом поступающих в пунктах I и IV сточных вод: в первом из них большее влияние оказывает тепловое загрязнение (температура воды здесь была выше естественного уровня [Елсаков, Щанов, 2016; Патова и др., 2021]), во втором – органическое. На увеличенную органическую нагрузку указывало повышенное содержание в водах фосфат-ионов, а также максимальные для исследованного отрезка реки величины бихроматной окисляемости, и, кроме того, здесь были отмечены высокие показатели концентрации в воде взвешенных веществ [Патова и др., 2021]. Косвенно об этом свидетельствуют изменения, происходившие в сообществах зоопланктона в условно “холодный” 2019 г., когда температура воздуха и воды была ниже ежегодных показателей, характерных для водотока в этот период [Там же]. В п. I наблюдали значительное снижение показателей развития планктонных организмов в сравнении с 2018 и 2020 гг. В п. IV, напротив, ежегодно росли эти показатели вне зависимости от условий года. Для более детального изучения этой гипотезы необходимо провести дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований в составе зоопланктона р. Вычегда, на отрезке, расположенном в зоне влияния условно чистых сточных вод АО “Монди СЛПК”, установлено 115 таксонов, большую часть которых составляли виды-индикаторы олигосапробных или условно чистых вод. Максимальное количество видов, индицирующих высокий уровень загрязнения, было найдено в пунктах сброса очищенных сточных вод (I и IV). Показатели количественного развития зоопланктона отличались большими значениями численности и биомассы в сравнении с фоновыми участками, что может быть свя-

зано с влиянием поступающих со сточными водами минеральных и органических соединений и тепловым влиянием. Показатели видового разнообразия планктонных сообществ на отрезке реки, подверженном воздействию сточных вод, напротив, были ниже, а уровень доминирования – выше, чем на фоновых участках. По состоянию планктонных сообществ в целом воды реки можно охарактеризовать как олиготрофные, за исключением пунктов, расположенных ниже по течению от сброса сточных вод, где они квалифицируются как эвтрофные.

Автор выражает благодарность М. А. Батуриной и Р. Р. Рафикову за отбор гидробиологического материала.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания № АААА-А17-117112850235-2 и при финансовой поддержке проекта “Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” на биологическое разнообразие в районе производства” (договор № 45-2018/180405).

ЛИТЕРАТУРА

- Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
- Барановская В. К. Планктонные ракообразные в верхнем и среднем течении Вычегды // Тез. докл. Восьмой сессии ученого совета по проблеме: Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Петрозаводск: Издающее учреждение, 1969. С. 55–57.
- Батурина М. А., Кононова О. Н. Влияние сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на водные зооценозы: обзор литературы // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, наст. вып. С. 685–695. doi: 10.15372/SEJ20210601 [Baturina M. A., Kononova O. N. Impact of waste waters from the pulp and paper industry on aquatic zoocenoses: a review of the literature // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 6].
- Воробьева Т. Я., Собко Е. И., Забелина С. А. Пространственно-временная изменчивость структуры планктонных сообществ экосистемы устья р. Северной Двины // Arctic Environmental Research. 2010. № 3. С. 36–42.
- Герасимова Т. Н. Оценка состояния вод р. Северной Двины и ее притоков на основе сообщества зоопланктона // Вод. ресурсы. 1992. № 3. С. 106–118.
- Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2013 г.”. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, Государственное учреждение “ТФИ РК”. Сыктывкар, 2014. 122 с.
- Елсаков В. В., Щанов В. М. Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Со-временные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 4. С. 135–145.
- Кононова О. Н. Зоопланктон реки Вычегда (Республика Коми) // Биология внутр. вод. 2009а. № 2. С. 47–55. [Kononova O. N. Zooplankton in the Vychehda River // Inland Water Biol. 2009a. Vol. 2 (2). P. 149–156. doi: 10.1134/S 1995082909020072].
- Кононова О. Н. Структура и динамика зоопланктона водоемов бассейна среднего течения р. Вычегда: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2009б. 18 с.
- Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 152 с.
- Кутикова Л. А. Коловатки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Л.: Наука, 1970. 744 с.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Макрушин А. Б. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 54 с.
- Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны мира. М.: Наука, 1964. 328 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Набережный А. И. Состав, численность и биопродукция зоопланктона реки Прут // Докл. 10-й Юбил. конф. по вопросам лимнологии Дуная. София: Изд-во БАН, 1968. С. 351–359.
- Патова Е. Н., Кондратёнок В. М., Сивков М. Д., Кострова С. Н. Качество вод реки Вычегда в условиях поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, наст. вып. С. 696–714. doi: 10.15372/SEJ20210602 [Patova E. N., Kondratenok V. M., Sivkov M. D., Kostrova S. N. Water quality of the Vychehda River under the conditions of the receipt of treated wastewater from the pulp and paper industry // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 6].
- Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 208 с.
- Протасов А. А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академперіодика, 2011. 704 с.
- Руководящий документ РД 52.24.309–2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов н/Д: Росгидромет, ФГБУ ГХИ, 2016. 100 с.
- Смирнов Н. Н. Macrothricidae и Moinidae фауны мира. Ракообразные. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. 237 с. (Фауна СССР; т. 1).
- Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. М.: Наука, 1977. 227 с.
- Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.
- Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидрoэкология: методы, критерии, решения. Т. 1. М.: Наука, 2005. 281 с.
- Bothwell M. L. Eutrophication of rivers by nutrients in treated kraft mill effluent // Water Pollut. Research J. Canada. 1992. Vol. 27, N 3. P. 447–472.
- Culp J. M., Podemski Ch. L., Cash K. J. Interactive effects of nutrients and contaminants from pulp mill effluents

- on riverine benthos // *J. Aquat. Ecosyst. Stress and Recov.* 2000. Vol. 8. P. 67–75.
- Dubé M. G., Culp J. M., Scrimgeour G. Nutrient limitation and herbivory: processes influenced by bleached kraft pulp mill effluent // *Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 1997. Vol. 54. P. 2584–2595.
- Hall T. J., Haley R. K., LaFleur L. E. Effects of biologically treated bleached kraft mill effluent on cold water stream productivity in experimental stream channels // *Environ. Tox. and Chem.* 1991. Vol. 10. P. 1051–1060.
- Hammer Ø., Harper D., Ryan P. PAST: Paleontological statistics software: Package for education and data analysis // *Palaeontol. Electron.* 2001. Vol. 4, N 1. P. 9.
- Harris J. H., Scarlett G., MacIntyre R. J. Effect of a pulp and paper mill on the ecology of the La Trobe River, Victoria, Australia // *Hydrobiologia.* 1992. Vol. 246. P. 49–67.
- Kononova O. The list of zooplankton taxa of the Vychegda river (in the areas impacted wastewaters of pulp and paper industry). *Mendeley Data*, 2021. Vol. 1. doi: 10.17632/2yrvb4s7kw.1

Zooplankton of the Vychegda River under the conditions of treated wastewater from pulp and paper industry

O. N. KONONOVA

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the UB of the RAS
167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaya str., 28
E-mail: kon@ib.komisc.ru*

Like most of the northern rivers, the Vychegda river, the second largest water system of the Komi Republic and the main tributary of the Northern Dvina river, is experienced intense anthropogenic load. Agricultural, domestic and industrial, at a greater extent, waste waters are currently the main polluting sources of river waters. The largest pulp and paper enterprise in Russia, Mondi Syktyvkar JSC, is located on the Vychegda riverbanks among the numerous enterprises operating here. The composition and structure of the zooplankton communities were investigated in the Vychegda river area, where effect of waste waters from the pulp and paper enterprise is observed. The research aim is to find out there is a negative impact of the conditionally treated waste waters on the aquatic biota. As a result, a rich species composition and quantitative development of zooplankton communities were established for the investigated river area. Rotifera was the dominant group on species abundance, number and biomass. This is characteristic feature of zooplankton communities in the watercourse as a whole. The indicator species of waters with a high level of pollution were registered both at points located in the area of waste waters influence and at the background plots of the river. The species which are not peculiar to the natural waters of the river were found in points of waste water discharge. The dominant complexes are represented by 9–15 species *лучше*. Their composition differs at background, waste waters and downstream points. According to the state of zooplankton communities, the river waters in the studied area are conditionally clean, except the points located downstream of waste waters discharge, where they are qualified as eutrophic.

Key words: waste water, planktonic communities, thermal pollution, indicator species.