

## Структура сообществ малоцетинковых червей (Annelida: Oligochaeta) р. Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод ЦБК

М. А. БАТУРИНА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
167982, Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28  
E-mail: baturina@ib.komisc.ru

Статья поступила 05.05.2022

После доработки 15.06.2022

Принята к печати 20.06.2022

### АННОТАЦИЯ

Приводятся оригинальные данные о составе и структуре сообществ Oligochaeta в зоне влияния условно-очищенных сточных вод крупного целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) (р. Вычегда). Выявлено 40 видов и форм олигохет. Отмечены виды, которые ранее в р. Вычегда были встречены только в прирусловых водоемах и озерах бассейна реки. Для исследованного участка реки, согласно индексам Шеннона ( $H_N$ ), Пиелу ( $E$ ), Симпсона ( $D_S$ ) и Уиттакера ( $\beta w$ ), показано большее видовое разнообразие относительно контрольного. Установлено достоверное увеличение численности и биомассы олигохет по сравнению с участками, расположенными выше по течению. На основании корреляционного анализа между количественными показателями развития олигохет с параметрами среды (тип субстрата, присутствие водорослевых обрастаний, глубина, наличие зарослей макрофитов, химический состав воды), оценки приуроченности видов к биотопу ( $F_j$ ) и сопряженности видов ( $r_A$ ) показано, что наиболее достоверным фактором, влияющим на распространение олигохет в зоне исследований, является субстрат. Полученные результаты по оценке разнообразия и распределения олигохет в зоне действия ЦБК подтверждают, что появление техногенных участков с искусственным субстратом вдоль береговой линии приводит к изменениям в составе, разнообразии и количественных характеристиках развития донных организмов.

**Ключевые слова:** Oligochaeta, зообентос, сточные воды, целлюлозно-бумажный комбинат, р. Вычегда.

### ВВЕДЕНИЕ

Как показывают различные исследования, при оценке состояния водных экосистем, подвергающихся антропогенному воздействию, только данных о концентрациях загрязняющих веществ бывает недостаточно [Armellini et al., 2017; Quanz et al., 2021]. Именно информация о разнообразии водных сообществ может достоверно показать наличие антропогенного влияния [Quanz et al., 2021]. Сточ-

ные воды целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) содержат разнообразные соединения [Culp et al., 2000], которые оказывают различное воздействие на водные организмы, изменяя количественные показатели развития, влияя на состав и структуру сообществ, биологию отдельных видов. И напротив, хотя среда находится под сильным антропогенным давлением, здесь могут формироваться новые биотопы, где наряду с обычными развиваются

редкие, не характерные для водоемов виды [Koperski, 2010; Krodkiewska et al., 2016]. При оценке специфического воздействия сточных вод целлюлозных заводов, в отличие от растительности [Boutin, Carpenter, 2016], амфибий [Hopkins, 2007], рыб [Sibley et al., 2000], донным сообществам и разнообразию макро-беспозвоночных уделяется значительно меньше внимания [Sibley et al., 2000]. Часто исследования беспозвоночных проводятся без учета естественных факторов, таких как физические переменные (например, гранулометрический состав, глубина), влияющих на пространственную изменчивость в структуре бентических сообществ в зонах сбросов сточных вод [Rosemarin et al., 1990].

Oligochaeta при изучении водных беспозвоночных в зонах влияния сбросов сточных вод часто учитываются без определения видового состава, хотя эта группа беспозвоночных является важным компонентом донной фауны и играет существенную роль в экосистемных процессах, влияя на структуру отложений, скорость разложения органического вещества и т. д. [Svensson et al., 2001]. Как правило, присутствие пресноводных олигохет, особенно Tubificinae, в конкретной среде обитания считают результатом органического загрязнения [Nijboer et al., 2004; Rodrigues, Reynoldson, 2011]. Но состав и показатели развития водных олигохет могут отражать различные условия окружающей среды, кроме загрязнения [Verdonschot, 1989]. Поэтому необходимо учитывать их состав, распространение и предпочтения в среде обитания не только для массовых, но и для редких видов.

Первые фаунистические исследования Oligochaeta в среднем течении р. Вычегда (правый приток р. Северной Двины, Республика Коми) проводились в 1940-е годы [Ласточкин, 1955]. Тогда было описано 16 видов малощетинковых червей для основного русла и 33 вида совместно с курьями и прирусловыми озерами. В то время участок реки ниже г. Сыктывкара характеризовался преимущественно песчаными грунтами со слабой заиленностью, отсутствием зарослей макрофитов по берегам и значительным влечением наносов [Зверева, 1969]. В период с 2018 по 2020 г. нами проводились исследования современного состояния экосистемы р. Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод АО “Мон-

ди СЛПК”. Были показаны изменения количественных показателей развития зообентоса, видового состава ряда модельных групп донных беспозвоночных, происходящие в условиях влияния сточных вод целлюлозно-бумажного производства, проведена оценка качества вод на участке мониторинга [Baturina et al., 2021a, b].

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы: 1) описать структуру сообществ водных олигохет в зоне действия ЦБК с учетом расстояния от точек сброса очищенных сточных вод; 2) оценить изменения в разнообразии олигохет и количественных показателях их развития относительно ранних исследований и контрольного участка. Решение этих вопросов расширит информацию о сообществах олигохет водоемов в урбанизированных ландшафтах.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на р. Вычегда, в среднем течении, в зоне действия АО “Монди СЛПК”. Протяженность исследованного участка 55 км. По течению реки было выбрано шесть пунктов (I – VI): п. I (прямоточный выпуск) и IV (рассеивающий выпуск) – точки сброса условно-очищенных и очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК”, ниже стоков расположены – пункты II, III (22,8 и 29,2 км от п. I) и V, VI (11,8 и 17,3 км от п. IV).

Непосредственно в местах сброса сточных вод (пункты I и IV) отмечено статистически значимое превышение над условно фоновыми значениями массовых концентраций взвешенных веществ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4^+$ , ХПК, перманганатной окисляемости (ПО) и ряда других показателей [Patova et al., 2021a]. Подробное описание района с картой-схемой пунктов исследований, а также химического состава воды дано в [Baturina et al., 2021a; Patova et al., 2021a]. Для сравнения количественных показателей и видового состава олигохет в анализ были включены данные с участка реки, выбранного как “контроль” (К), расположенного на 62–79 км выше по течению от п. I.

В каждом пункте пробы бентоса отбирались на разных субстратах. Грунты для анализа делили по размеру частиц [Качинский, 1958] на крупный (искусственного происхождения, >30 мм в диаметре) и мелкий (диаме-

тром 1–30 мм) гравий, песок (мелкий – 0,05–0,5 мм и крупный – 0,5–1 мм), ил (<0,1 мм). Далее субстрат ранжировали в соответствии с увеличивающейся крупностью частиц: ил (–2), мелкий песок (–1), крупный песок (0), мелкий гравий (1) и крупный гравий (2), и определяли комбинированный субстратный индекс [Riis et al., 2001] для каждого пункта как сумму двух основных субстратов, таким образом, варьируя от –3 для ила до 3 для крупного и мелкого гравия. Наличие детрита, водорослевых и моховых обрастаний, а также зарослей макрофитов учитывалось в анализе как присутствие или отсутствие фактора.

В 2018 г. пробы отбирались в период снижения уровня воды, а в 2019 г. – в период интенсивного подъема уровня воды вследствие значительных осадков. В 2020 г. уровень воды был наименьшим [Patova et al., 2021a].

Олигохет выбирали из проб зообентоса по методике, изложенной в [Baturina et al., 2021a, b]. Анализ образцов проводили в лабораторных условиях с использованием стереомикроскопа Микромед МС-4 ZOOM LED и микроскопа МИКМЕД-6 в глицериновых препаратах. Видовую принадлежность олигохет определяли в соответствии с ключами [Чекановская, 1962; Timm, 2009]. Молодь олигохет или семейства, не определенные до вида в силу сложности идентификации, учитывались как *Enchytraeidae* gen. spp., *Lumbriculidae* gen. spp. juv., *Tubificinae* spp. juv. Эти особи были включены в расчет средней численности и биомассы олигохет, но исключались из расчета индексов разнообразия, основанных на видовом составе группы. Полный список видов *Oligochaeta* приведен в [Baturina et al., 2021c] с указанием распределения видов по пунктам отбора проб.

При анализе данных применяли непараметрические методы статистического анализа, для определения средних показателей рассчитывали медиану (*Me*). Для количественной характеристики сообщества *Oligochaeta* в исследованном водотоке и на разных биотопах рассчитывали частоту встречаемости (*F*) для каждого вида в сообществах. Олигохеты были разделены на пять классов встречаемости с использованием модифицированной шкалы [Nijboer et al., 2004] следующим образом: очень часто ( $F > 12$ ), умеренно часто (4,0–12,0), часто (1,5–4,0), умеренно ред-

ко (0,5–1,5) и редко (0–0,5) встречающиеся. Для оценки значимости отдельных видов олигохет в биоценозе и выделения олигохетных комплексов рассчитывали индекс доминирования по биотопам (*D*, %) [Шитиков и др., 2005]. Для оценки избирательности вида при выборе местообитаний рассчитывали индекс приуроченности видов  $F_{ij}$  [Naglov, Zagorodnyuk, 2006]. В качестве меры биологического разнообразия сообществ (альфа-разнообразия) использовали общепринятые показатели: видовую плотность, индекс разнообразия Шеннона ( $H_N$ , бит./экз.), рассчитанный на основании численности видов, индекс выравненности экологических групп Пиелу (*E*), а также индекс Симпсона ( $D_S$ ) [Шитиков и др., 2005]. Сравнение состава видов проводили с использованием индекса Чекановского–Сьеренсена ( $I_S$ ) [Шитиков и др., 2005]. Для учета видового разнообразия группы и прогнозирования богатства фауны рассчитывали индексы  $S_{Chao2}$  и  $S_{jack1}$  [Gotelli, Colwell, 2011]. Для определения бета-разнообразия группы в водоеме использовали индекс Уиттакера ( $\beta_w$ ) [Шитиков и др., 2005].

Для расчета корреляции между разнообразием, количественными характеристиками олигохет и определения их зависимости от параметров среды – состава грунта, присутствия водорослевых обрастаний, глубины, наличия зарослей макрофитов, химического состава воды – использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (*r*). Гидрофизические и гидрохимические показатели воды на исследуемом участке взяты из [Patova et al., 2021a]. Пространственную биотопическую сопряженность между различными видами олигохет находили с помощью тетраэдрического показателя связи  $r_A$  [Архипова, Баканов, 2003]. Достоверность показателя проверяли с помощью *t*-критерия Стьюдента при  $p < 0,05$ . При расчете сопряженности не учитывали виды, имеющие частоту встречаемости более 70–80 % и менее 10–20 % [Дегтева, Новаковский, 2010].

При выполнении кластерного анализа применяли метод Варда (Ward's method), в качестве меры различия между кластерами использовали евклидово расстояние. Дендрограммы были построены по принципу присутствие/отсутствие видов. Статистическая обработка и визуализация данных проведены

с использованием программных пакетов Excel и STATISTICA 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Состав фауны Oligochaeta, количественные показатели развития, межгодовые различия

В 2018–2020 гг. на исследованном участке среднего течения р. Вычегда в составе донной фауны отмечено 40 таксонов олигохет, из них 33 определены до вида (рис. 1). Все указанные виды входили в состав четырех семейств: Naididae (подсем. Naidinae, Tubificinae), Enchytraeidae, Propappidae, Lumbriculidae. Наиболее разнообразно по числу видов и форм было подсемейство Naidinae, которое включало 73,8 % общей фауны олигохет. Наиболее часто в пробах бентоса отмечались виды *Amphichaeta leidigi* Tauber, *Piguetiella blanci* (Piguet), *Nais behningi* Michaelsen, *Uncinais uncinata* (Oersted), *Stylaria lacustris* (Linnaeus), *Chaetogaster diaphanus* (Gruithuisen), *Ripistes parasi-ta* (Schmidt), *Propappus volki* Michaelsen, *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, *Tubifex tubifex* (Müller). Доля редких видов – *Ch. diastophus* (Gruithuisen), *N. pseudobtusa* Piguet, *N. pardalis* Piguet, *Pristina aquiseta foreli* Piguet, *Stylaria fossularis* Leidy, *L. udekemianus* Claparède – составляла до 35 % от общего числа выявленных.

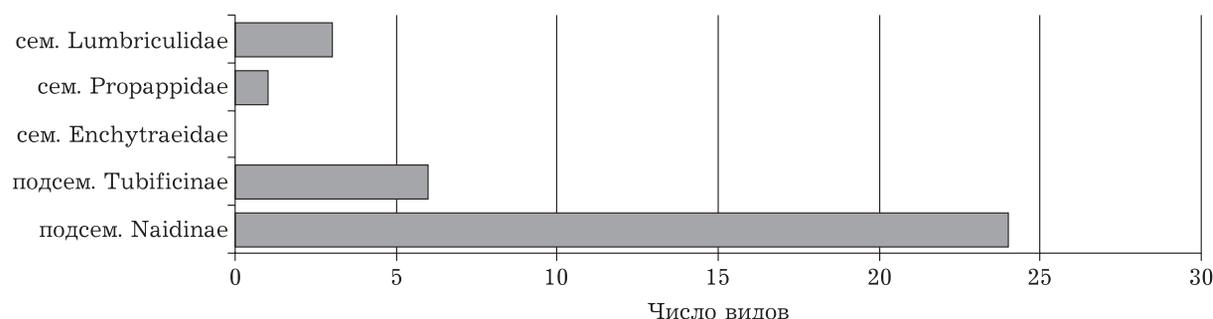


Рис. 1. Видовая насыщенность семейств олигохет в р. Вычегда (зона действия АО “Монди СЛПК”). Представители сем. Enchytraeidae до вида не определялись

Количественные показатели развития олигохет в этот период варьировались в широких пределах: от минимальной до 15,7 тыс. экз./м<sup>2</sup> численность и до 0,9 г/м<sup>2</sup> биомасса. К доминирующему комплексу видов относилось 22,5 % всей фауны. При этом только один вид *L. hoffmeisteri* указывался как доминант по численности ( $10 < D < 100$ ), остальные как субдоминанты ( $1 < D < 10$ ): *N. behningi*, *P. blanci*, *R. parasi-ta*, *A. leidigi*, *S. lacustris*, *U. uncinata*.

В точках, расположенных выше по течению (К) от исследованного участка, в составе фауны олигохет отмечено 12 видов и форм, до вида не определенных. 60 % всех видов приходилось на долю подсем. Naidinae, но по частоте встречаемости (57 % проб) здесь преобладал *Propappus volki* Michaelsen (сем. Propappidae).

Значение индекса Уиттакера ( $\beta w$ ), как и общего числа видов для исследованного участка, было выше относительно контрольного (табл. 1).

Межгодовые различия в развитии сообществ малощетинковых червей отмечались при сравнении количественных показателей: наибольшие значения численности и биомассы (2,6 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0,2 г/м<sup>2</sup>) указывались в 2018 г. (рис. 2). При этом основу численности составляли представители подсем. Naidinae (см. табл. 1). Состав доминирующего (доминанты и субдоминанты) комплекса

Т а б л и ц а 1  
Число видов олигохет и значения индекса Уиттакера ( $\beta w$ ) в р. Вычегда в зоне действия АО “Монди СЛПК” (пункты I–VI) и контрольном участке (К), 2018–2020 гг.

Пункт	Число видов на пробу, max	Среднее в пробе, Me	Общее число видов и форм	$\beta w$
I–VI	20	6	40	5,4
К	8	1,5	12	5,0

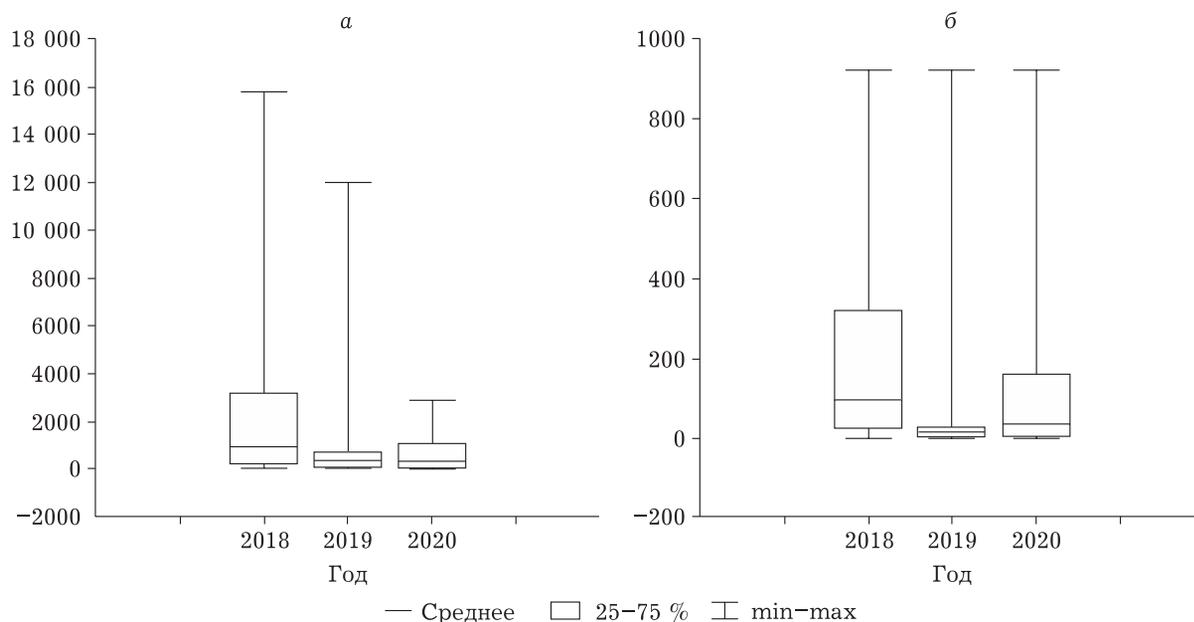


Рис. 2. Количественные показатели численности олигохет (а – численность, экз./м<sup>2</sup>; б – биомасса, мг/м<sup>2</sup>) в р. Вычегда (зона действия АО “Монди СЛПК”), 2018–2020 гг.

определяли: *N. behningi* ( $D = 11,2$ ), *P. blanchi* ( $D = 9,2$ ), *R. parasita* ( $D = 5,9$ ), *U. uncinata* ( $D = 3,3$ ), *S. lacustris* ( $D = 2,4$ ). На втором месте по численности стояло подсем. Tubificiinae (см. табл. 1). Среди тубифицин к составу доминантов относился вид *L. hoffmeisteri* ( $D = 28,4$ ). Достоверных различий в численности и биомассе олигохет между годами не уста-

новлено, хотя наблюдалась тенденция снижения этих показателей к 2020 г. (см. рис. 2). Как и в 2018 г., в этот год ведущая роль в общей численности олигохет также преимущественно приходилась на представителей подсем. Naidinae (см. табл. 2). Доминирующий комплекс видов в 2020 г. состоял из *A. leidigi* ( $D = 6,5$ ), *N. behningi* ( $D = 6,3$ ), *Ch. diaphanus* ( $D = 5,2$ ),

Т а б л и ц а 2

Межгодовые различия количественных показателей и показатели разнообразия фауны малощетинковых червей в р. Вычегда (зона действия АО “Монди СЛПК”)

Показатель	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Доля Naidinae в общей численности, %/число видов, $n$	57,1/20	24,9/11	73,8/19
Доля Tubificiinae в общей численности, %/число видов, $n$	38,6/4	56,7/4	16,0/3
Доля Lumbriculidae в общей численности, %/число видов, $n$	2,4/3	–	3,2/1
Доля Enchytraeidae в общей численности, %*	1,9	16,6	1,3
Доля Prorappidae в общей численности, %/число видов, $n$	0,1/1	1,7/1	5,7/1
Индекс Шеннона ( $H$ ):	0,0 ÷ 3,1	0,0 ÷ 2,5	0,0 ÷ 4,0
диапазон	1,9	1,3	1,4
Me ( $H_N$ )			
Индекс Симпсона ( $D_S$ )	0 ÷ 1	0 ÷ 1	0 ÷ 1
диапазон	0,3	0,4	0,4
Me ( $D_S$ )			
Индекс Пиелу ( $E$ )	0 ÷ 0,9	0 ÷ 0,9	0 ÷ 0,9
диапазон	0,7	0,5	0,4
Me ( $E$ )			

\* Представители сем. Enchytraeidae до вида не определялись.

*S. lacustris* ( $D = 3,5$ ), *R. parasita* ( $D = 2,0$ ), *U. uncinata* ( $D = 1,4$ ) и Tubificinae: *L. hoffmeisteri* ( $D = 1,6$ ), *Tubifex tubifex* ( $D = 1,5$ ). Роль остальных семейств в составе сообществ во все годы была менее значима, и только в 2019 г. резко выделялась численность представителей сем. Enchytraeidae (см. табл. 2).

Иерархическая кластеризация выявила близость сообществ олигохет, сходных между собой по уровню альфа-разнообразия фауны и числу видов (рис. 3). В первом кластере (А) объединились все пробы за 2018 и 2020 гг. В эти годы было установлено наибольшее число видов на пробу (9–20, в среднем – 12) и отмечались наибольшие показатели разнообразия фауны (см. табл. 2). Внутри кластера произошло разделение на две группы. В подкластер А1 вошли все пробы с п. I за оба года. Более 50 % фауны в них составило подсем. Naidinae. В подкластере А2 объединились данные с остальных пунктов, при этом только здесь было встречено девять видов, отнесенных нами к редким. В кластер (Б) включились все пробы за 2019 г. Они характеризовались низким видовым разнообразием: до 7 видов на пробу (в среднем 3). В целом сравнение состава видов выявило умеренное сходство между годами: наибольшее сходство ( $I_S$  44 %) отмечалось между 2018 и 2020 гг., наименьшие значения  $I_S$  указывались между 2018–2019 гг. (33 %) и 2020–2019 гг. (37 %).

В первый год исследований (2018 г.) выявлено 75 % всего видового состава олигохет.

На долю таксонов, встреченных в одной пробе ( $Q_1$ ), приходилось 33,3 %, в двух пробах ( $Q_2$ ) – 13,3 % всей фауны, а потенциальное число видов Oligochaeta для этого участка Вычегды составило по  $S_{Chao2}$  и  $S_{jack1}$  – 34,2–39,3 соответственно. Таким образом, доля установленного числа видов в первый год исследований составила 76,3–87,3 % от ожидаемого. На второй год эти значения были достигнуты: за 2018–2019 гг. в сумме отмечено 38 видов. Но поскольку доля редких видов сохранилась на уровне предыдущего года – 34,2 % ( $Q_1$ ) и 15,7 % ( $Q_2$ ), ожидаемое число видов увеличилось до 41,6–50,6. В 2020 г. по данным за три года наблюдений число редких видов на участке было на уровне 30,0 % ( $Q_1$ ) и 7,5 % ( $Q_2$ ). На долю реально встреченных видов приходилось 77,4–78,8 % от прогнозируемых значений ( $S_{Chao2} = 50,7$  и  $S_{jack1} = 51,7$ ). В целом показатели видового разнообразия, выравниваемости сообществ и уровень доминирования для данного участка реки составляли:  $H_N = 1,6$ ,  $E = 0,6$ ;  $D_S = 0,4$ .

### Пространственное распределение олигохет

Большинство встреченных в пробах видов олигохет не показало достоверной зависимости от гидрофизических и гидрохимических параметров. Только для *L. hoffmeisteri*, *N. behningi*, *P. blanci*, *R. parasita* и *A. lomondi* установлена достоверная отрицательная кор-

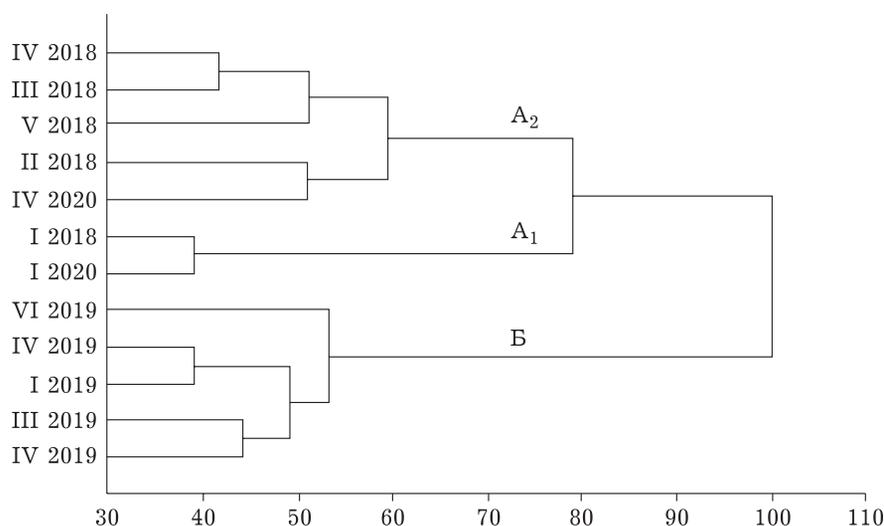


Рис. 3. Дендрограмма сходства видового состава олигохет (Oligochaeta) в р. Вычегда (зона действия АО "Монди СЛПК"), 2018–2020 гг.

реляция с БПК<sub>5</sub> ( $r = -0,5 \div -0,58$ ). Для *P. blanci*, *S. lacustris* зафиксирована достоверная отрицательная корреляция с N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub> ( $r = -0,5 \div -0,65$ ) и положительная с PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и P<sub>общ</sub> ( $r = -0,41 \div -0,55$ ), для *Ch. diaphanus* – положительная корреляция с N-NH<sub>4</sub> ( $r = 0,51$ ), Cl<sup>-</sup> ( $r = 0,48$ ), IC ( $r = 0,42$ ).

По типу преобладающего субстрата на исследованном участке реки было выделено четыре биотопа: Г<sub>1</sub> – песок и мелкий гравий, часто покрытый моховыми или водорослевыми обрастаниями (отмечен в пунктах I, V, VI; у правого берега – заросли макрофитов); Г<sub>2</sub> – песок и крупный гравий, камни, покрыт наилком, часто с водорослевыми обрастаниями, грунт имеет искусственное происхождение, сформирован при укреплении береговой линии в пунктах сброса сточных вод и мостовых перекрытий (пункты I, III, преимущественно на левом берегу; в п. III – заросли макрофитов); Г<sub>3</sub> – песок с разным размером частиц, в стрежне реки (все пункты); Г<sub>4</sub> – песчано-илистый грунт (пункты I, II, IV). На контрольном участке (К) преобладали песчаные грунты (Г<sub>3</sub>), у берегов – с наилком.

Все биотопы характеризовались большим числом видов (23–29), кроме Г<sub>3</sub>, где отмечено только пять видов. Значения индекса видового разнообразия Шеннона в биотопах по-

казали положительную зависимость от типа грунта ( $r = 0,41$  при  $p < 0,01$ ). Во всех биотопах отмечались *Ch. diaphanus*, *L. hoffmeisteri*, *P. blanci*, *P. volki*. Только для Г<sub>1</sub> указывались *Ch. diastrophus*, *L. variegatus*, *N. pardalis*, *S. fossularis*; для Г<sub>2</sub> – *C. glandulosa*, *L. udekemianus*, *N. pseudobtusa*, *P. aequisetata foreli*, *S. heringianus* (пункты I, III, V, VI) и для Г<sub>4</sub> – *P. hammoniensis* (п. IV).

Биотопы отличались по количественным показателям развития олигохет (рис. 4). На песчаном грунте показатели численности и биомассы червей были достоверно наименьшими. Также достоверно различались количественные показатели развития между Г<sub>1</sub> и Г<sub>4</sub>. При этом песчаные грунты с примесью гравия и камней (Г<sub>1</sub> и Г<sub>2</sub>) были схожи по количественным характеристикам развития сообщества, независимо от происхождения грунта и размера каменистых элементов. В обоих биотопах количественное развитие малоцетинковых червей определяли наидины, составляя 67,9 и 69,0 % численности. Общая численность представителей подсемейства показала также положительную корреляцию с наличием водорослевых обрастаний ( $r = 0,41 \div 0,46$  при  $p < 0,05$ ), которые в массе развивались именно на данном типе грунта. На песчаном грунте 56,9 % общей численности приходилось

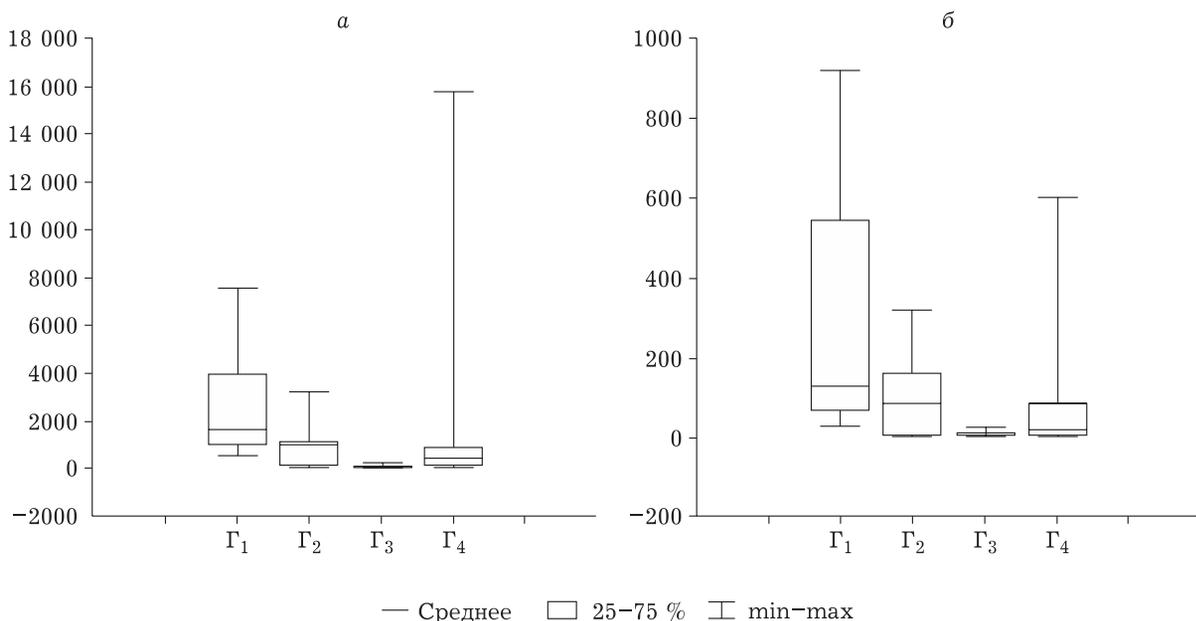


Рис. 4. Количественные показатели численности олигохет (а – численность, экз./м<sup>2</sup>; б – биомасса, мг/м<sup>2</sup>) в р. Выгегда (зона действия АО “Монди СЛПК”) на разных типах донных отложений. Описание приведено в тексте

на долю сем. Protoparidae, а на песчано-илистом численность олигохет на 56,1 % формировалась тубифицинами. В трех биотопах из четырех ( $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_4$ ) доминировал *L. hoffmeisteri*, в  $\Gamma_2$  – совместно с *N. behningi*. При этом численность вида *N. behningi* показала достоверную положительную зависимость ( $r = 0,42$  при  $p < 0,05$ ) с присутствием водорослевых обрастаний на поверхности грунта. В состав субдоминантов в этих биотопах помимо прочих входили *A. leydigi*, *T. tubifex*, Enchytraeidae gen. spp. Только в  $\Gamma_3$  доминантом был *P. volki*. Наиболее разнообразный доминирующий комплекс (34,4 % общего списка видов) отмечался в  $\Gamma_1$ . Только  $\Gamma_3$  отличался низким сходством с другими биотопами ( $I_S = 0,26$ ), для остальных сходство видового состава было умеренным ( $I_S = 0,44 \div 0,46$ ).

Кривые рангового распределения видов (рис. 5) демонстрировали модель лог-ряда для биотопов  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  и  $\Gamma_4$ , что характерно для сообществ с малым числом обильных видов и большой долей редких. А кривая рангового обилия видов для  $\Gamma_1$  более соответствовала модели логарифмически нормального распределения. Это может свидетельствовать о том, что разнообразное население данного биотопа имеет сложившуюся и устойчивую структуру.

Оценка степени приуроченности видов олигохет к биотопам, основанная на доле вида в структуре сообщества, показала высокую положительную приуроченность ряда видов к определенному биотопу: с песчано-гра-

вийным грунтом (часто в зарослях макрофитов – правый (пункты I, V) или левый (п. III) берег или с водорослевыми обрастаниями – левый берег (п. I)) – *A. plurisetia*, *Ch. setosus*, *N. communis*, *O. serpentina*, *P. blanci*, *S. lacustris*, *U. uncinata*, *V. comata* ( $F = 0,61-1,0$ ); с песчано-гравийным грунтом антропогенного происхождения (часто с водорослевыми обрастаниями (п. I – левый берег) или в зарослях макрофитов (п. III – левый берег)) – *N. barbata*, *N. behningi*, *N. elinguis*, *P. aequisetata* ( $F = 0,5 \div 1,0$ ); с песчаным грунтом – *P. volki* ( $F = 0,66 \div 0,96$ ); с песчано-илистым грунтом – *S. josinae* ( $F = 0,74$ ). Представители сем. Enchytraeidae и подсем. Tubificinae показали умеренные значения коэффициента приуроченности ( $F = 0,42 \div 0,44$ ) к песчано-илистому грунту, а сем. Lumbriculidae – к биотопу с песчано-гравийным грунтом и зарослям макрофитов. Общая численность представителей семейств Lumbriculidae и Enchytraeidae достоверно коррелировала с наличием зарослей в биотопе ( $r = 0,48 \div 0,54$  при  $p < 0,05$ ).

В целом на исследованном участке реки установлены невысокие показатели экологической связи между различными видами олигохет. Достоверные показатели положительной связи ( $r_A = 0,5 \div 0,76$ ) получены лишь для ряда видов наидин, взаимно предпочитающих песчаные или каменистые грунты с водорослевым налетом или зарослями макрофитов (*N. bretscheri*, *N. communis*, *N. elinguis*, *O. serpentina*). Также достоверные показате-

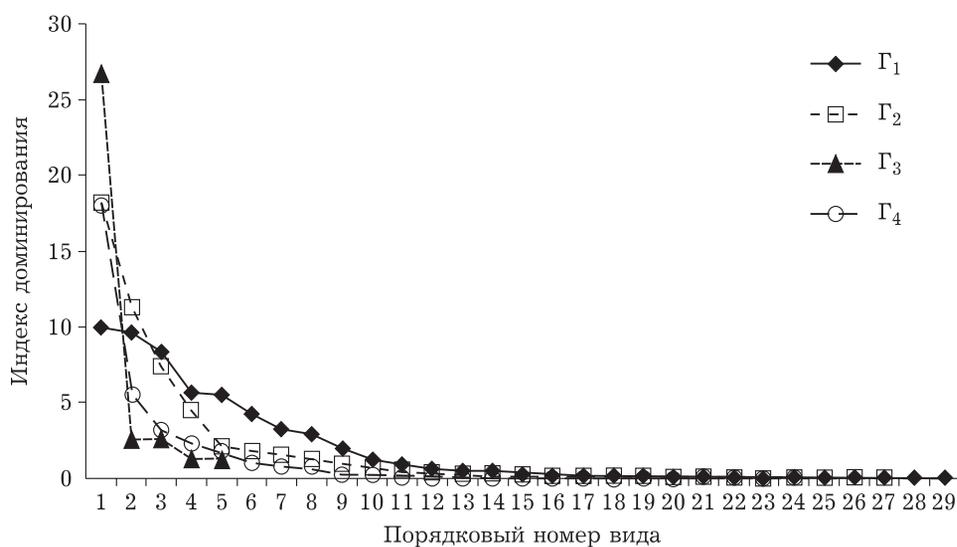


Рис. 5. Ранговое распределение видов олигохет по индексу доминирования  $D$  в р. Вычегда (зона действия АО “Монди СЛПК”)

ли  $r_A$  ( $0,55 \div 0,63$ ) получены для пелофильного *T. tubifex* и предпочитающего заиленные пески *S. josinae*. Псаммофил *P. volki*, напротив, продемонстрировал биотопическую разобщенность с большинством видов ( $r_A = -0,63 \div -0,80$ ).

На протяжении всего исследованного участка реки длиной 55 км (от п. I до п. VI) количественные показатели развития олигохет варьировались в широких пределах (табл. 3), но достоверных отличий численности и биомассы между пунктами, расположенными на разном удалении от точек сброса очищенных сточных вод, не установлено. При этом численность и биомасса олигохет на контрольном участке (К) были достоверно ниже, чем в зоне действия очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК”. В большинстве пунктов исследованного участка реки по численности в пробах бентоса преобладали представители подсем. Naidinae, и они определяли здесь количественное развитие всего сообщества малощетинковых червей. Наибольшая их численность отмечалась в п. II (2018 г.) – 98,7 %, наименьшая – в п. IV (2019 г.) – 8,7 %. Виды подсем. Tubificinae стояли на втором месте по численности в пробах (в среднем 21,5 % общей численности олигохет). Наибольшая доля тубифицид (82,3 %) была зафиксирована в п. IV (2019 г.), наименьшая – 0,76 % – в п. II (2018 г.). Доля энхитреид в среднем составляла 10,5 %, однако в 2019 г. в пунктах II и VI она выросла до 42,7 и 50,7 % соответственно. Два других семейства (Pro-rariidae, Lumbriculida) играли минимальную роль в численности олигохет на исследованном участке реки в период с 2018 по 2020 г., составляя 1,3–1,5 % численности.

Пункты I и IV – точки сброса условно-очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК”, – характеризовались повышенной концен-

трацией ряда гидрохимических параметров и изменением температурного режима воды [Ratova et al., 2021a]. Здесь описаны биотопы  $\Gamma_1$  (с правого берега с зарослями макрофитов),  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_4$  – в прибрежье и  $\Gamma_3$  – в середине реки. В этих пунктах указывалось наибольшее число видов олигохет (31), оно варьировалось от отсутствия олигохет до 19 (в среднем 6) видов на пробу. Доля видов-доминантов составляла 12,5–16 % от общего списка. К видам, стабильно образующим структуру фауны олигохет в пунктах I и IV с 2018 по 2020 г., относились: *A. leidigi*, *N. behningi*, *P. blanci*, *R. parasita* (подсем. Naidinae), *L. hoffmeisteri* (подсем. Tubificinae). Показатели видового разнообразия и индекса доминирования в пунктах I–IV имели средние значения:  $H_N = 1,6$  ( $0,0 \div 3,9$ ),  $D_S = 0,4$  ( $0,0 \div 1,0$ ),  $E = 0,6$  ( $0,0 \div 1,0$ ).

Пункты II и III расположены на 22,8 и 29,2 км ниже по течению от п. I. Здесь описаны биотопы  $\Gamma_1$  (с левого берега местами заросли макрофитов),  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ . Общее число видов олигохет в этих пунктах снизилось до 23, при этом выросло до 8 число видов на пробу относительно п. I. Доля доминирующих видов оставалась примерно на том же уровне – 10,0–15,0 %, и состав доминирующих видов (*L. hoffmeisteri*, *N. behningi*, *P. blanci*) был близок к п. I. Показатели видового разнообразия сообщества и индекса доминирования в этих пунктах были наибольшими:  $H_N = 2,0$  ( $1,8 \div 2,3$ ),  $D_S = 0,4$  ( $0,3 \div 0,5$ ),  $E = 0,7$  ( $0,5 \div 0,9$ ).

Пункты V и VI расположены на 11,8 и 17,3 км ниже п. IV. Для них характерны биотопы  $\Gamma_1$  (у правого берега заросли макрофитов),  $\Gamma_3$  и  $\Gamma_4$ . Всего указано 29 видов олигохет, а число видов на пробу увеличилось до 9 относительно п. IV. Доминирующий

Т а б л и ц а 3

**Количественные показатели развития олигохет в р. Вычегда (зона действия АО “Монди СЛПК”) в пунктах отбора проб (I–VI)**

Показатель	Пункты отбора проб					
	I	II*	III	IV	V	VI
Численность, экз./м <sup>2</sup>	738,2	1454,1	754,8	462,0	3119,1	210,9
Диапазон (min – max)	40,0–7560,0		166,5–3207,9	0,0–15760,0	1298,7–4939,5	80,0–12000,0
Биомасса, мг/м <sup>2</sup>	68,9	145,1	54,9	17,3	317,5	8,0
Диапазон (min – max)	3,0–920,0		5,6–320,8	0,0–600,0	129,9–505,1	1,1–217,6

\* Пробы собраны один раз в 2018 г.

комплекс составлял 16,6–23,8 % от общего числа видов. В состав доминантов входили: *L. hoffmeisteri*, *S. lacustris*, *U. uncinata*, *N. behningi*, *P. blanci*, Enchytraeidae gen. spp. Показатели видового разнообразия сообщества олигохет были в этих пунктах выше относительно п. IV (сброс очищенных сточных вод):  $H_N = 1,9$  (0,0 ÷ 3,1),  $D_S = 0,4$  (0,1 ÷ 1,0),  $E = 0,6$  (0,0 ÷ 0,8).

В целом по общему составу видов наиболее близкими на исследованном участке были пункты I–IV ( $I_S = 41$  %), III–IV ( $I_S = 39 ÷ 41$  %), III–V ( $I_S = 40 ÷ 41$  %), сходство между остальными пунктами было низким ( $I_S = 24 ÷ 31$  %).

На участке реки (К) выше по течению от п. I, выбранном нами как “контроль”, в преобладающих биотопах, характерных для среднего течения р. Вычегда (песчаный, местами с наилком, грунт), число видов на одну пробу было заметно ниже и составляло в среднем 2 (0 ÷ 8) вида. На долю доминантов здесь приходилось 16,6 % фауны, а доминирующий комплекс состоял из *P. volki* ( $D = 28,6$ ) и неполовозрелых форм Tubificinae spp. ( $D = 8,6$ ). Показатели видового разнообразия были достоверно ниже относительно участка реки между пунктами I и VI:  $H_N = 0,96$  (0,0 ÷ 2,6),  $D_S = 0,64$  (0,2 ÷ 1,0),  $E = 0,28$  (0,0 ÷ 0,87). Сходство видов олигохет между участком в зоне действия АО “Монди СЛПК” и участком, расположенным на 79 км выше по течению, составляло 27 %.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований на участке р. Вычегда в зоне действия АО “Монди СЛПК” показано: 1) достоверное увеличение количественных показателей развития и числа видов олигохет по сравнению с проведенными ранее исследованиями и выбранным контрольным участком; 2) присутствие в составе фауны олигохет основного русла реки видов, которые ранее [Ласточкин, 1955] указывались преимущественно в притоках, курьях и прирусловых озерах как характерные для заиленных песков, зарослей макрофитов, различных обрастаний или обитающие в крупных песках с примесью гальки. Таким образом, на участке р. Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК” в настоящее время наблюдается раз-

витие разнообразной и многочисленной фауны малощетинковых червей. Каковы же могут быть причины такого изменения в составе и структуре фауны олигохет?

Существующие исследования влияния ЦБК на экосистемы водоемов описывают два варианта трансформации сообществ. С одной стороны, токсическое влияние сточных вод может приводить к деградации сообществ донных беспозвоночных [Sibley et al., 2000], в частности олигохет, и формированию монодоминантных таксоценозов. С другой стороны, известно [Culpr et al., 2000], что со сточными водами ЦБК в водоемы вносятся биогенные вещества. Они накапливаются в донных отложениях, вызывая изменения в составе бентических водорослей и повышая продуктивность экосистемы. В результате, ниже сбросов сточных вод развивается разнообразное и многочисленное сообщество организмов бентоса. Такой эффект мы наблюдали в проведенных ранее исследованиях общего бентоса и отдельных модельных групп в р. Вычегда [Baturina et al., 2021a, b] в зоне влияния сточных вод комбината. Проведенный нами анализ разнообразия таксоценоза олигохет по ряду показателей – структуре, индексам альфа- и бета-разнообразия – подтвердил, что фауна олигохет на исследованном участке (пункты I–VI) отличалась более высоким разнообразием относительно контрольного (К), расположенного выше по течению реки участка. Результаты рассчитанного видового богатства подтвердили высокий процент выявления фауны, однако в ее составе велика доля редких видов.

В целом на исследованном участке р. Вычегда представители сем. Naididae (подсемейств Naidinae и Tubificinae) играли структурообразующую роль в сообществе олигохет. Люмбрикулиды, энхитреиды и пропаппиды встречались редко и в небольшом количестве. По результатам анализа корреляционной зависимости, приуроченности видов к биотопам, уровню сопряженности видов можно утверждать, что для исследованного участка р. Вычегда установлены невысокие показатели экологической связи между различными видами малощетинковых червей. Этот факт может указывать [Архипова, Баканов, 2003] на незавершенность формирования фаунистических комплексов.

Важными факторами для формирования разнообразия фауны олигохет в лотиче-

ских системах считают химический состав вод и донных отложений [Schenkova et al., 2001; Timm et al., 2001; Jabłońska, 2014], гидродинамические факторы [Verdonschot, 2001]. Актуальность нитратов, нитритов, фосфатов, растворенного кислорода и БПК<sub>5</sub> для распределения олигохет, особенно видов подсем. Tubificinae, наблюдали [Schenkova et al., 2001; Timm et al., 2001; Verdonschot, 2001; Jabłońska, 2014] при изучении незагрязненных и умеренно загрязненных рек. Для рассматриваемого нами участка реки ранее [Patova et al., 2021a] показано, что гидрохимические условия между пунктами I и VI значительно не различались. Отсутствие достоверной корреляции с рядом гидрохимических параметров, имеющих наибольшие значения в местах сброса сточных вод (взвешенные вещества, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, химическое потребление кислорода (ХПК), перманганатная окисляемость, БПК<sub>5</sub> и др.), подтверждает предположение [Gilbert, 1989; Bis et al., 2000; Dumbravă-Dodoacă, Petrovici, 2010], что высокая численность тубифицин чаще связана с более загрязненными водами, чем было установлено в нашем исследовании.

Отмеченная межгодовая вариабельность количественного развития малоцетинковых червей могла быть связана как с годовыми циклами развития особей, так и с гидрологическими условиями года: в 2019 г. уровень воды в реке был наибольшим. Известно [Poole et al., 1977], что существующая связь между подъемом уровня воды и снижением численности бентических животных создается за счет вымывания и дрефта животных во время наводнений. Это последствия изменений турбулентного потока, вызывающего размывание русла, особенно когда частицы мелкие, а субстрат неуплотнен и неустойчив, подобно тому как мы наблюдали в ряде пунктов на исследованном участке р. Вычегда. Поскольку некоторые виды Enchytraeidae встречаются у кромки воды, то, вполне вероятно, могут быть вымыты из почвы очень сильным течением во время половодья. Ранее это наблюдала А. Jabłońska [2014] и отмечено в наших исследованиях: увеличение доли энхетрид в 2019 г. на отдельных пунктах. Хотя достоверной связи между составом фауны, показателями развития олигохет и глубиной нами не установлено.

В местах сброса очищенных сточных вод в условиях измененного температурного ре-

жима воды [Patova et al., 2021a] наблюдали интенсивное развитие мелкоклеточных зеленых водорослей [Patova et al., 2021b], активно развивающихся в богатых биогенными элементами водах [Tarlan et al., 2002; Gentili, 2014]. Известно [Ratsak, Verkuijlen, 2006], что в водорослевой пленке предпочитают проживать многие виды олигохет, особенно представители подсем. Naidinae. По нашим данным, для ряда видов наидин отмечалась высокая приуроченность к плотным песчано-гравийным и гравийным грунтам различного происхождения, покрытых водорослевыми обрастаниями, среди которых преобладали грунты антропогенного генезиса. Представители наидин доминировали в биотопах Г<sub>1</sub> и Г<sub>2</sub> (часто покрытых водорослевыми обрастаниями в пунктах I и IV по левому берегу). Подобное распределение описывалось ранее [Jabłońska, 2014]: было показано, что наидины могут достигать наивысшей плотности на бетонных плитах береговой линии, покрытых водорослями, а наибольшее обилие Tubificinae (особенно *L. hoffmeisteri*, *T. tubifex*) отмечается в мелкозернистых грунтах [Verdonschot, 1989; Rodriguez, Reynoldson, 2011]. Учитывая достоверные отличия количественных показателей развития и видового состава олигохет на различных биотопах, можем заключить, что тип субстрата выступал как фактор, наиболее достоверно определяющий состав и структуру фауны олигохет на исследованном участке реки.

Хотя часть видов олигохет демонстрировала положительную корреляцию с конкретными экологическими переменными, маловероятно, что одна переменная, такая как химический элемент или тип субстрата, влияла на плотность, видовое богатство и состав таксоценоза в целом. Как, например, отмечена положительная корреляция ряда видов с наличием водорослевых обрастаний или макрофитов в совокупности с каменистыми грунтами. Несмотря на то что на исследованном участке реки (пункты I–VI) мы наблюдали разнообразные биотопы, однако они не были приурочены к конкретному пункту, химические параметры воды также не показали четких отличий. Это, вероятнее всего, и объясняет тот факт, что на фоне установленного высокого разнообразия фауны олигохет отмечалось сходство количественных показателей

развития и доминирующих комплексов видов олигохет на протяжении всего участка.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На исследованном участке р. Вычегда в зоне влияния очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК” отмечено 40 видов и форм малощетинковых червей. В составе фауны встречены виды, которые ранее указывались только в прирусловых водоемах и озерах бассейна реки.

Отсутствие последовательных достоверных различий в структуре фауны, составе доминирующих комплексов, показателях плотности и биомассы олигохет на протяжении всего участка реки на разном удалении от сбросов очищенных сточных вод было обусловлено повторяющимся характером биотопов, гидрологических и гидрохимических условий.

Более высокие показатели видового разнообразия (альфа- и бета-) и количественного развития олигохет относительно контрольного участка определялись на исследованном нами участке разнообразием условий, не характерным для русла р. Вычегда в среднем течении. При этом гранулометрический состав донных отложений был наиболее существенным фактором влияния.

Полученные результаты показали, что при отсутствии прямого токсического загрязнения появление антропогенных участков береговой линии приводит к трансформации нативных биотопов и, как следствие, изменению водных сообществ: наблюдался рост разнообразия олигохетных таксоценозов, отмечалось появление видов, не характерных для естественных биотопов реки. Таким образом, появление в водных экосистемах техногенных субстратов является важным фактором, который необходимо учитывать при оценке видового богатства биоты водоемов урбанизированных ландшафтов.

Исследование выполнено в рамках темы Государственного задания № 122040600025-2 и при финансовой поддержке проекта “Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” на биологическое разнообразие в районе производства” (договор № 45-2018/180405).

#### ЛИТЕРАТУРА

Архипова Н. Р., Баканов А. И. К вопросу об экологии малощетинковых червей (Oligochaeta) Чебоксарского

водохранилища // Биология внутр. вод. 2003. № 4. С. 63–72.

- Детгева С. В., Новаковский А. Б. Группы сопряженных видов в растительном покрове ландшафтов бассейна верхнего и среднего течения реки Печоры как индикаторы экопических и фитоценологических условий // Сиб. экол. журн. 2010. Т. 17, № 2. С. 281–289.
- Зверева О. С. Особенности биологии главных рек Коми АССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 279 с.
- Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
- Ласточкин Д. А. Малощетинковые черви (Oligochaeta) р. Вычегды // Изв. Коми филиала Всесоюз. геогр. о-ва. 1955. Вып. 3. С. 62–65.
- Чекановская О. В. Водные малощетинковые черви. Фауна СССР. М.; Л.: Наука, 1962. 411 с.
- Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. М.: Наука, 2005. 281 с.
- Armellin A., Baird D., Curry C., Glozier N., Martens A., McIvor E. Cabin wetland macroinvertebrate protocol // Prepared by CABIN Wetland Subcommittee. 2017. P. 1–63.
- Baturina M., Kononova O., Fefilova E., Loskutova O. The fauna of aquatic invertebrates in the river impacted by wastewaters from the pulp and paper industry (Komi Republic) // Biodiver. Data J. 2021a. Vol. 9. e75362. doi: 10.3897/BDJ.9.e75362
- Baturina M. A., Fefilova E. B., Loskutova O. A. State of the Benthic Communities of the Vychehda River under the Influence of Treated Wastewater from the Pulp and Paper Industry // Contemporary Problems of Ecology. 2021b. Vol. 14, N 6. P. 579–587. doi: 10.1134/S1995425521060032
- Baturina M., Fefilova E., Loskutova O. The list of zoobenthos taxa of the Vychehda River (in the areas impacted wastewaters of pulp and paper industry). Mendeley Data. V1. 2021c. doi: 10.17632/86zs8ts2fv.1
- Bis B., Zdanowicz A., Zalewski M. Effects of catchment properties on hydrochemistry, habitat complexity and invertebrate community structure in a lowland river // Hydrobiologia. 2000. Vol. 422–423. P. 369–387. doi: 10.1023/A:1017002923173
- Boutin C., Carpenter D. J. Assessment of wetland/upland vegetation communities and evaluation of soil-plant contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons and trace metals in regions near oil sands mining in Alberta // Sci. Total Environ. 2016. Vol. 576. P. 829–839. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.062
- 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. doi: 10.1023/A:1011452108483
- Dumbravă-Dodoacă M., Petrovici M. The influence of the anthropic activities on the benthonic macroinvertebrates communities existing in the Jiu and Jiul de Vest rivers, southwest Romania // AACL Bioflux. 2010. Vol. 3 (2). P. 133–140.
- Gentili F. G. Microalgal biomass and lipid production in mixed municipal, dairy, pulp and paper wastewater together with added flue gases // Biores. Technol. 2014. Vol. 169. P. 27–32. doi: 10.1016/j.biortech.2014.06.061
- Gilbert O. L. The Ecology of Urban Habitats. London, New York: Chapman and Hall, 1989. P. 1–369.

- Gotelli N. J., Colwell R. K. Estimating species richness // *Frontiers in Measuring Biodiversity*. New York: Oxford Univ. Press, 2011. P. 39–54.
- Hopkins W. A. Amphibians as models for studying environmental change // *ILAR*. 2007. Vol. 48 (3). P. 270–277. doi: 10.1093/ilar.48.3.270
- Jabłońska A. Oligochaete communities of highly degraded urban streams in Poland // *Central Eur. North-Western J. Zool.* 2014. Vol. 10 (1). P. 74–82.
- Koperski P. Urban environments as habitats for rare aquatic species: The case of leeches (Euhirudinea, Clitellata) in Warsaw freshwaters // *Limnologia*. 2010. Vol. 40. P. 233–240. doi: 10.1016/j.limno.2009.05.001
- Krodkiewska M., Strzelec M., Spyra A. Assessing the diversity of the benthic oligochaete communities in urban and woodland ponds in an industrial landscape (Upper Silesia, southern Poland) // *Urban Ecosyst.* 2016. Vol. 19. P. 1197–1211. doi: 10.1007/s11252-016-0545-1
- Naglov V., Zagorodnyuk I., Statistical analysis of species confinedness and community structure // *Proc. Theriol. School.* 2006. N 7. P. 291–300.
- Nijboer R. C., Wetzel M. J., Verdonshot P. F. M. Diversity and distribution of Tubificidae, Naididae, and Lumbriculidae (Annelida: Oligochaeta) in the Netherlands: an evaluation of twenty years of monitoring data // *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 520. P. 127–141. doi: 10.1023/B:HYDR.0000027732.88238.61
- Patova E. N., Kondratenok B. 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*. 2021a. Vol. 14, N 6. P. 588–605. doi: 10.1134/S1995425521060081.
- Patova E. N., Stenina A. S., Shabalina Y. N., Sterlyagova I. N. Phytoplankton Communities of the Vychehda River in the Area of Treated-Wastewater Intake from the Pulp and Paper Industry // *Contemporary Problems of Ecology*. 2021b. Vol. 14, N 6. P. 633–641. doi: 10.1134/S1995425521060093.
- Poole N. J., Wildish D. J., Kristmanson D. D., Waldichuk M. The effects of the pulp and paper industry on the aquatic environment. *Critical Reviews // Environmen. Sci. Technol.* 1977. Vol. 8. P. 153–195. doi: 10.1080/10643387709381661
- Quanz M. E., Walker T. R., Oakes K., Willis R. Effects of industrial effluent on wetland macroinvertebrate community structures near a wastewater treatment facility // *Ecol. Indicat.* 2021. Vol. 127. P. 107709. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107709
- Ratsak Ch. H., Verkuijlen J. Sludge reduction by predatory activity of aquatic oligochaetes in wastewater treatment plants: science or fiction? A review // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 564. P. 197–211. doi: 10.1007/s10750-005-1719-7
- Riis T., Sand-Jensen K., Larsen S. E. Plant distribution and abundance in relation to physical conditions and location within Danish stream systems // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 448. P. 217–228. doi: 10.1023/A:1017580424029
- Rodriguez P., Reynoldson T. B. *The Pollution Biology of Aquatic Oligochaetes*. London, New York: Springer, Dordrecht, Heidelberg, 2011. P. 1–265.
- Rosemarin A., Lehtinen K.-J., Notini M. Effects of treated and untreated softwood pulp mill effluents on Baltic Sea algae and invertebrates in model ecosystems // *Nordic Pulp and Paper Research Journal*. 1990. Vol. 5. P. 83–87.
- Schenkova J., Komárek O., Zahrádková S. Oligochaeta of the Morava and Odra River basins (Czech Republic): species distribution and community composition // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 463. P. 235–240. doi: 10.1023/A:1013128413701
- Sibley P. K., Dixon D. G., Barton D. R. Impact of bleached kraft pulp mill effluent on benthic community structure in relation to environmental factors // *J. Aquat. Ecosystem Stress and Recovery*. 2000. Vol. 7. P. 229–246. doi: 10.1023/A:1009987123319
- Svensson J. M., Enrich-Prast A., Leonardson L. Nitrification and denitrification in a eutrophic lake sediment bioturbated by oligochaetes // *Aquat. Microb. Ecol.* 2001. Vol. 23. P. 177–186. doi: 10.3354/ame023177
- Tarlan E., Dilek F. B., Yetis U. Effectiveness of algae in the treatment of a woodbased pulp and paper industry wastewater // *Biores. Technol.* 2002. P. 1–5. doi: 10.1016/S0960-8524(02)00029-9
- Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe // *Lauterbornia*. 2009. Vol. 66. P. 1–235.
- Timm T., Seire A., Pall P. Half century of oligochaete research in Estonian running waters // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 463. P. 223–234. doi: 10.1023/A:1013176229631
- Verdonshot P. F. M. The role of oligochaetes in the management of waters // *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 180. P. 213–227. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107709
- Verdonshot P. F. M. Hydrology and substrates: determinants of oligochaete distribution in lowland streams (The Netherlands) // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 463. P. 249–262. doi: 10.1023/A:1013132514610

# Community structure of oligochaetes (Annelida: Oligochaeta) of the Vychegda River in the zone of influence of wastewater from pulp and paper production

M. A. BATURINA

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

The paper contains original data on the composition and structure of Oligochaeta communities in the zone of influence of wastewater from a pulp and paper industry (the Vychegda River, the Northern Dvina River basin). 40 species and forms of oligochaetes have been identified. We found species having been earlier identified only in tributaries, in floodplain water bodies and in lakes of the Vychegda River basin. By the diversity index (Shannon index ( $H_N$ ) and Simpson index ( $D_S$ )), evenness index (Pielow index ( $E$ )), and Whittaker ( $\beta w$ ) indices, the studied section of the river exceeds the control section by the species diversity. There is a significant increase in abundance and biomass of oligochaetes in comparison with section higher up the river. Based on the correlation analysis between the quantitative development indicators of oligochaetes with the environmental parameters (type of substrate, presence of algal growths and macrophyte, depth, chemical composition), the assessment of biotopic confinement of species ( $F_j$ ) and conjugate between species ( $r_A$ ), we found out that the distribution of oligochaetes in the study area largely depends on the type of substrate. According to the obtained results on the assessment of diversity and distribution of oligochaetes in the zone of influence of wastewater from a pulp and paper industry, the appearance of technogenic parts with artificial substrate along the shore line leads to changes in the composition, diversity and quantitative development characteristics of benthic organisms.

**Key words:** Oligochaeta, biodiversity, pulp and paper production treated wastewater, Vychegda River.