

## Зообентос оз. Пясино и прилегающих рек после аварийного разлива дизельного топлива в 2020 г.

С. П. ШУЛЕПИНА<sup>1</sup>, О. П. ДУБОВСКАЯ<sup>1, 2</sup>, Л. А. ГЛУЩЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет  
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79  
E-mail: shulepina@mail.ru

<sup>2</sup>Институт биофизики Федерального исследовательского центра  
“Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской Академии наук”  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50

Статья поступила 02.02.2021

После доработки 24.02.2021

Принята к печати 25.02.2021

### АННОТАЦИЯ

Исследованы видовой состав и количественные характеристики зообентоса оз. Пясино и впадающих в него рек после разлива дизельного топлива. Рассчитана продукция зообентоса и потенциальная рыбопродукция бентофагов в оз. Пясино. Выявлены малое число видов, невысокие значения численности и биомассы бентофауны. В руч. Безымянном, устье р. Далдыкан и р. Амбарной по плотности доминировали олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede и *Tubifex tubifex* (O. F. Muller). В оз. Пясино и истоке р. Пясины преобладали личинки ручейников, хирономид, веснянок, а также амфиподы. На глубоководной заиленной станции оз. Пясино развились олигохеты *L. hoffmeisteri*, доля которых в составе бентофауны на этой станции (40 и 79 % общей биомассы и численности соответственно) была максимальна. По биомассе на этой станции доминировала амфипода *Monoporeia affinis* (Lindström). Отмечены снижение разнообразия хирономид, увеличение доли олигохет полисапробов, низкие значения индекса Шеннона в оз. Пясино в 2020 г. по сравнению с 1992 г. Невысокие средние величины численности ( $2181 \pm 2048$  экз/м<sup>2</sup>) и биомассы ( $2,01 \pm 1,85$  г/м<sup>2</sup>) зообентоса в озере обусловили низкие величины продукции зообентоса и потенциальной продукции рыб-бентофагов (3 кг/га за сезон). Показано улучшение качества воды по зообентосу от речных участков, подвергнутых разливу нефтепродуктов, к озеру и истоку р. Пясины.

**Ключевые слова:** зообентос, видовой состав, численность, биомасса, продукция, рыбопродуктивность, разливы нефти, качество воды.

Норило-Пясинская водная система образует верхний водосборный бассейн р. Пясины и является уникальным водосбором Арктики-  
© Шулепина С. П., Дубовская О. П., Глущенко Л. А., 2021

ческой зоны России, который представляет собой сеть озер, соединенных водотоками. Наибольшее антропогенное воздействие эта

водная система испытывает от предприятий Норильского горно-металлургического комплекса. Среди приоритетных загрязняющих веществ – тяжелые металлы (медь, никель, цинк, железо) и нефтепродукты [Иванов, Румянцева, 2011; Румянцева, 2012]. В мае 2020 г. в результате аварии на ТЭЦ-3 в районе Норильска произошел разлив дизельного топлива, и нефтепродукты поступили в Норило-Пясинскую водную систему. Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных в глобальном масштабе опасных веществ, вызывающих тяжелые экологические последствия при загрязнении ими водных объектов.

Для грунтов с признаками нефтяного загрязнения характерна бедность видового состава зообентоса при высокой численности и биомассе выносимых к загрязнению форм – представителей олигохет сем. Tubificidae, при этом исчезают личинки ручейников, поленок и хирономид, чувствительные к присутствию нефтяного загрязнения [Холмогорова, 2007; Lapteva et al., 2019]. При сильном хроническом загрязнении наблюдается угнетение всего сообщества, включая устойчивые формы, но при снижении концентраций нефти регистрируется обратный процесс [Harrel, 1985; Виноградов и др., 2002; Loskutova et al., 2015; Bertrand, Hare, 2017]. Бентосные сообщества непосредственно контактируют с загрязняющими ингредиентами, чутко реагируют на изменение их концентрации, поэтому их широко используют для мониторинга водных экосистем и оценки качества вод [Балушкина, 1997; Баканов, 2000; Безматерных, 2007].

Данные о зообентосе оз. Пясино имеются только за апрель и август 1992 г. и опубликованы в статье В. П. Андреева с соавторами [1999], согласно которым максимальное значение биомассы зообентоса в оз. Пясино (м. Еловый, восточная часть озера) достигало  $0,83 \text{ г/м}^2$  и обуславливалось развитием моллюсков на данной станции. В низовьях р. Норильской бентосных животных не обнаружено. Средняя биомасса в озере составила  $0,20 \text{ г/м}^2$ . В большинстве проб преобладали личинки хирономид. Индекс Шеннона колебался от 0,66 до 2,59.

Целью нашей работы является оценка по зообентосу экологического состояния оз. Пясино и впадающих в него рек после аварийного разлива дизельного топлива в 2020 г.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы зообентоса отобраны сотрудниками Института биофизики КНЦ СО РАН в составе Большой Норильской экспедиции при комплексном экологическом исследовании на 13 станциях (по одной на станции), расположенных на реках выше слива дизельного топлива (ст. 2 и 4) и ниже (ст. 1, 3, 5, 6, 13), кроме того, в р. Норильской (ст. 12), в оз. Пясино (ст. 7–10) и истоке р. Пясины из озера (ст. 11) (см. карту в статье Д. М. Безматерных и др. настоящего спецвыпуска).

Озеро Пясино имеет площадь  $735 \text{ км}^2$  и среднюю глубину 4 м [Богданов, 1985], является проточным и мелководным, с коэффициентом водообмена около единицы [Иванов, Румянцева, 2011]. В озеро на юге впадают реки Норильская, Амбарная и другие, на севере вытекает р. Пясины длиной 818 км, впадающая в Карское море. Общая площадь водосборного бассейна 182 тыс.  $\text{км}^2$  [Форина и др., 2020]. Дизельное топливо попадало в руч. Безымянный, затем с его водами в р. Далдыкан и затем в р. Амбарную, которая несла его в южную часть оз. Пясино (см. карту в статье Д. М. Безматерных и др. настоящего спецвыпуска).

Пробы зообентоса в реках и прибрежных участках озера отбирали с глубины 0,5–1,5 м круговым скребком Дулькейта (площадь захвата  $0,09 \text{ м}^2$ ), а в глубоководной части озера (станции 8 и 10) – с глубин 3 и 7 м – дночерпателем Петерсена (площадь захвата  $0,025 \text{ м}^2$ ).

Состав грунта в исследованных водных объектах существенно различался, так, в руч. Безымянном зарегистрирован заиленный детрит; в реках Далдыкан и Пясины – камни, песок; в р. Амбарной – заиленные камни, песок с детритом, в р. Норильской – заиленный щебень, в оз. Пясино – галька, ил, песок. В составе грунта в руч. Безымянном, в устье р. Далдыкан, в р. Амбарной (ст. 5) зафиксирован мазут. Отобранный грунт промывали через мельничный газ № 28 с размером ячеек 240 мкм. В стационарных условиях беспозвоночных выбирали из пробы пинцетом и фиксировали в 80%-м этаноле [Руководство..., 1992].

Видовое разнообразие оценивали с помощью индекса Шеннона H (по численности) [Финогенова, Алимов, 1976]. Индекс сапробности Пантле и Букка на каждой станции считывали как средневзвешенный по числен-

ности индикаторных видов, индивидуальные сапробности видов брали из таблиц [Wegl, 1983; Тодераш, 1984; Пшеницына, 1986; Голубева, 1988]. Классы и категории качества воды определяли в соответствии с нормативами [РД 52.24.309-2016].

Потенциальную продукцию рыб бентофагов ( $P_{\text{рыб}}$ ) в оз. Пясино за сезон приблизительно оценили по уравнению  $P_{\text{рыб}} = (\frac{1}{2}P_{\text{зб}})/6 = 0,083P_{\text{зб}}$ , где  $P_{\text{зб}}$  – продукция зообентоса за сезон; 6 – кормовой коэффициент зообентоса, в котором доминируют в основном гаммариды [Методические рекомендации, 1984]. Продукцию зообентоса оценили, принимая Р/В коэффициент за сезон, равным 2,0 в среднем для северных водоемов [Винберг, 1976], и среднюю биомассу зообентоса, равной  $2,01 \pm 1,85$  г/м<sup>2</sup>. Калорийность бентоса в среднем приняли равной таковой амфипод – 0,9 ккал/г сырой массы, калорийность рыб – 1 ккал/г [Винберг, 1986]. Площадь озера считали равной 73 500 га.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В зообентосе руч. Безымянного, рек Далдыкан, Амбарной, Норильской и Пясино обнаружено 25 видов и таксонов более высокого ранга макробеспозвоночных: хирономид – 16, олигохет – 3, ручейников – 2, веснянок, мокрецов, комаров-болотниц, нематод и водяных клещей – по одному таксону (табл. 1). Видовой состав бентофауны исследованных водотоков был беден (1–9 таксонов на станции), численность и биомасса варьировали соответственно в пределах 11–4719 экз./м<sup>2</sup>, 0,01–2,34 г/м<sup>2</sup> (табл. 2). В реках Далдыкан (ст. 2), Норильской и Пясино доминировали амфибиотические насекомые – личинки хирономид *Microsectra gr. praecox*, *Paracladopelma camptolabis* Kieffer, *Monodiamesa bathyphila* Kieffer; веснянки *Skwala pusilla* Klapalek, мокрецы. В руч. Безымянном и на всех станциях р. Амбарной в сообществах зообентоса доминировали эврибионтные виды-индикаторы, населяющие “загрязненные” и “грязные” воды, положительно реагирующие на увеличение органического загрязнения и эвтрофирование экосистемы – олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Tubifex tubifex* (см. табл. 2).

Отмечены смена структурообразующего комплекса бентофауны и изменение количе-

ственных характеристик зообентоса в реках Амбарной и Далдыкан между станциями выше поступления загрязненных нефтепродуктами вод (фоновыми) и станциями, находящимися под влиянием нефтепродуктов. Так, в р. Далдыкан на фоновой станции (ст. 2) видовое богатство зообентоса составило 9 таксонов, доминировали личинки хирономид *Microsectra gr. praecox*, встречались личинки ручейников *Glossosoma* sp., индикаторы “чистой” воды. На ст. 3 ниже впадения вод руч. Безымянного с дизтопливом отмечено резкое сокращение как видового богатства зообентоса (до одного таксона, см. табл. 1), так и численности и биомассы (в 10–30 раз, см. табл. 2). Таксономический состав зообентоса р. Амбарной на всем исследованном участке довольно однообразен (см. табл. 2). В районе ст. 4, выше поступления вод с нефтепродуктами, доля олигохет составила 99 % общей численности и биомассы зообентоса, встречены хирономиды-полисапробы *Chironomus* sp. На ст. 5, ниже поступления загрязненных нефтепродуктами вод, отмечено снижение плотности зообентоса в 3 раза (см. табл. 2) при сохранении высокой доли олигохет (96–98 %), также здесь встречены личинки хирономид *Chironomus* sp. В районе ст. 6 плотность зообентоса продолжила снижаться в 3,5–6,5 раза по сравнению с районом ст. 5, при этом доля олигохет немного снизилась (63–79 %), появились личинки хирономид *Cryptochironomus defectus* Kieffer, *Thienemannimyia* sp. (см. табл. 1), индикаторы “слабозагрязненной” воды.

В устье р. Амбарной в районе ст. 13, ниже всех задерживающих нефтепродукты бон, зарегистрирована максимальная плотность зообентоса по всем районам исследования реки (в 1,5–4,5 раза выше, чем в фоновом районе, см. табл. 2). Доля олигохет составила 96–98 % общей численности и биомассы зообентоса. Следует отметить увеличение разнообразия личинок хирономид в районе ст. 13 по сравнению со всеми вышележащими станциями. Появились личинки индикаторы “слабозагрязненной” воды *Procladius ferrugineus* Kieffer, *Procladius choreus* Meigen, *Psectrocladius delatoris* Zelentsov (см. табл. 1).

Зообентос оз. Пясино представлен 13 таксонами: хирономид – 6, олигохет – 2, брюхоногих моллюсков – 2, амфипод, двусторчатых моллюсков и нематод – по одному

Т а б л и ц а 1  
Видовой состав зообентоса оз. Пясино и впадающих в него водотоков, 4–11 августа 2020 г. («+» – вид зарегистрирован)

Вид, крупный таксон	Район отбора проб													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1														
2														
Тип Nematoda														
Тип Annelida, класс. Oligochaeta														
Сем. Naididae														
Сем. Tubificidae														
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	+			+	+									
<i>Spirosperma ferox</i> (Eisen, 1879)	+													
<i>Tubifex tubifex</i> (O. F. Muller, 1773)				+	+									
Тип Mollusca, класс Gastropoda														
<i>Anisus acronicus</i> (Ferrussac, 1807)														
<i>Valvata depressa</i> C. Pfeiffer, 1828														
Класс Bivalvia														
Сем. Pisiidae														
Тип Arthropoda														
Класс Crustacea														
<i>Monoporeia affinis</i> (Lindström, 1855)														
Класс Insecta														
Отр. Diptera														
Сем. Chironomidae														
Подсем. Chironominae														
<i>Chironomus</i> sp.														
<i>Cryptochironomus defectus</i> Kieffer, 1921														
<i>Microsetra</i> gr. <i>pracox</i>														
<i>Paracladopelma camptolabis</i> (Kieffer, 1913)														
<i>Polypedilum scalanenum</i> (Schrank, 1803)														
Подсем. Diamesinae														
<i>Diamesa</i> sp.														
Подсем. Prodiamesinae														
<i>Monodiamesa bathyphila</i> (Kieffer, 1918)														
Подсем. Orthocladinae														
<i>Cricotopus (Isocladius) gr. silvestris</i>														

О к о н ч а н и е    т а б л .    1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Cricotopus</i> gr. <i>bicinctus</i>			+										
<i>Cricotopus</i> sp.		+											
<i>Cricotopus</i> gr. <i>tremulus</i>													+
<i>Corynoneura</i> <i>scutellata</i> Winner, 1846		+											
<i>Eukiefferiella</i> gr. <i>cyanea</i>		+											
<i>Orthocladius</i> gr. <i>saxicola</i>		+									+		
<i>Parakiefferiella bathophila</i> (Kieffer, 1912)													+
<i>Parakiefferiella triquetra</i> (Pankratova, 1970)													+
<i>Psectrocladius delatoris</i> Zelentsov, 1980							+						
Подсем. Тануподинае													
<i>Ablabesmyia</i> gr. <i>annulata</i>													
<i>Procladius choreus</i> Meigen, 1804							+						
<i>Procladius ferrugineus</i> Kieffer, 1919							+					+	
<i>Thienemannimyia</i> sp.		+				+							+
Сем. Ceratopogonidae													
<i>Culicoides</i> sp.													
Сем. Limoniidae													
<i>Dicranota bimaculata</i> (Schummel, 1829)		+											
Отр. Plecoptera													+
<i>Skavala pusilla</i> Klapalek, 1912													
Отр. Trichoptera													+
<i>Apatania cymophila</i> Mc L., 1880													
<i>Glossosoma</i> sp.		+											
Класс Acari													
Hydrachnidia													+
Всего видов	3	9	1	3	3	3	6	2	2	4	2	9	9

П р и м е ч а н и е. “+” – вид зарегистрирован.

Численность (экз./м<sup>2</sup>), биомасса (г/м<sup>2</sup>) зообентоса и индекс Шеннона–Маргалефа (H, бит) оз. Пясино и впадающих в него водотоков, 4–11 августа 2020 г.

Станция	Описание станции	Численность, экз/м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	H, бит	Доминант по численности	Доминант по биомассе
1	руч. Безымянный	44	0,04	1,50	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
2	р. Далдыкан (фон)	331	0,11	2,39	<i>Micropsectra gr. praecox</i>	<i>Micropsectra gr. praecox</i>
3	р. Далдыкан (ниже руч. Безымянного)	11	0,01	–	<i>Cricotopus gr. bicinctus</i>	<i>Cricotopus gr. bicinctus</i>
Средняя* по р. Далдыкан		171 ± 160	0,06 ± 0,05	1,20 ± 1,20	–	–
4	р. Амбарная (фон)	1045	1,59	0,50	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
5	р. Амбарная (ниже впадения Далдыкана)	308	0,52	1,02	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
6	р. Амбарная (низовье)	88	0,08	1,50	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
13	р. Амбарная (устье, ниже бон)	4719	2,34	0,78	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
Средняя* по р. Амбарной		1540 ± 1079	1,13 ± 0,51	0,95 ± 0,21	–	–
12	р. Норильская	198	0,15	0,31	<i>Culicoides sp.</i>	<i>Culicoides sp.</i>
7	оз. Пясино, мыс Тонкий (у берега)	22	0,07	0,50	<i>Anisus acronicus</i>	<i>Anisus acronicus</i>
8	мыс Тонкий (глубоководная станция)	360	0,39	1,89	Pisidiidae	Pisidiidae
9	мыс Гольый (у берега)	22	0,01	0,50	<i>Orthocladius gr. saxicola</i>	<i>Orthocladius gr. saxicola</i>
10	мыс Гольый (глубоководная станция)	8320	7,56	1,23	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Monoporeia affinis</i>
Средняя* по оз. Пясино		2181 ± 2048	2,01 ± 1,85	1,03 ± 0,33	–	–
11	р. Пясино, исток из озера	374	0,34	2,47	<i>Paracladopelma camptolabis</i>	<i>Skwala pusilla</i>

П р и м е ч а н и е . \* – средняя ± стандартное отклонение.

таксону (см. табл. 1). По станциям исследования преобладали разные группы донных беспозвоночных (см. табл. 2). Так, на глубине 0,5 м на мелкой гальке (ст. 7) доминировали брюхоногие моллюски (100 %); среди заиленного песка (ст. 9) преобладали хирономиды *Orthocladius gr. saxicola* (50 %). С увеличением глубины озера и заилением грунта отмечена смена доминирующего комплекса – на глубине 2,9 м (ст. 8) преобладали двустворчатые моллюски (30 и 82 % общей численности и биомассы соответственно), на глубине 6,7 м (ст. 10) по численности преобладали олигохеты *L. hoffmeisteri* (79 %), по биомассе – амфиподы *Monoporeia affinis* (53 %).

Численность зообентоса оз. Пясино варьировала от 22 до 8320 экз./м<sup>2</sup>, биомасса –

от 0,01 г/м<sup>2</sup> (ст. 9) до 7,56 г/м<sup>2</sup> (ст. 10). Средняя по озеру (ст. 7–10) численность составила 2181 ± 2048 экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 2,01 ± 1,85 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 2). В связи с невысокой средней биомассой зообентоса потенциальная продукция рыб бентофагов ориентировочно составила всего 3 кг/га (табл. 3).

По индексу сапробности качество воды рек Норильской (ст. 12), Пясино (ст. 11), Далдыкан (ст. 2, 3), оз. Пясино (ст. 7–9) соответствовало II классу, вода “слабо загрязненная” (табл. 4). Состояние воды в руч. Безымянном соответствовало III классу – “загрязненная”. Качество воды в р. Амбарной варьировало по районам исследования от III (“загрязненная”) до IV (“грязная”) класса.

Т а б л и ц а 3

Средняя для оз. Пясино биомасса ( $B_{зб}$ ) зообентоса и рассчитанная по ней продукция ( $P_{зб}$ ) и потенциальная продукция рыб бентофагов ( $P_{рыб}$ ) за сезон

$B_{зб}$	$P_{зб} = 2 \cdot B_{зб}$		$P_{рыб} = 0,083 P_{зб}$	$P_{рыб}$
г/м <sup>2</sup>	г/м <sup>3</sup>	кал/м <sup>2</sup>	кал/м <sup>2</sup> = г/м <sup>2</sup>	кг/га
2,01	4,02	3,62	0,30	3,0

Т а б л и ц а 4

Оценка качества воды оз. Пясино и впадающих в него водотоков по индексу сапробности, рассчитанному методом Паутле и Букка с использованием индивидуальной сапробности зообентоса, 4–11 августа 2020 г.

Стан-ция	Описание станции	Индекс сапробности, балл	Класс качества	Степень загрязненности воды
1	руч. Безымянный – зона разлива дизтоплива	3,00	III	Загрязненная
2	р. Далдыкан, выше разлива (фон)	1,95	II	Слабо загрязненная
3	р. Далдыкан, ниже впадения руч. Безымянного	2,20	II	Слабо загрязненная
Средняя* по р. Далдыкан		2,08 ± 0,13	II	Слабо загрязненная
4	р. Амбарная, выше впадения р. Далдыкан (фон)	3,60	IV	Грязная
5	р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан	3,59	IV	Грязная
6	р. Амбарная, низовье	3,20	III	Загрязненная
13	р. Амбарная, устье ниже бон	3,57	IV	Грязная
Среднее* по р. Амбарной		3,49 ± 0,10	III	Загрязненная
12	р. Норильская	1,98	II	Слабо загрязненная
7	оз. Пясино, мыс Тонкий у берега	2,20	II	Слабо загрязненная
8	мыс Тонкий, глубоководная станция	1,60	II	Слабо загрязненная
9	оз. Пясино, мыс Гольй у берега	1,65	II	Слабо загрязненная
10	мыс Гольй, глубоководная станция	3,43	III	Загрязненная
Среднее* по оз. Пясино		2,22 ± 0,43	II	Слабо загрязненная
	р. Пясино, исток из озера	1,55	II	Слабо загрязненная

П р и м е ч а н и е. \* – средняя величина ± стандартное отклонение.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки 13 проб зообентоса на участке Норило-Пясинской системы от руч. Безымянного до истока р. Пясино из одноименного озера обнаружено небольшое число видов и групп (25 в водотоках, 13 в озере), а число видов зообентоса на станциях не превышало 9. Бедность видового состава зообентоса по всем районам исследования может быть обусловлена как антропогенным загрязнением, так и малым количеством отобранных проб.

Сильное нефтяное загрязнение отрицательно сказывается на всех водных организмах, вызывая обеднение видового состава, упрощение структуры донных сообществ, снижение их численности и биомассы [Виноградов и др., 2002; Холмогорова, 2007]. Ряд авторов указывают на высокую численность некоторых так-

сонов хириноид и олигохет или только хириноид [Loskutova et al., 2015; Lapteva et al., 2019] при нефтяном загрязнении. Однако другие исследователи [Poulton et al., 1997] не обнаружили увеличения численности этих групп, индуцированного нефтяным загрязнением. Согласно нашим данным, которые хорошо согласуются с данными многих авторов [Harrel, 1985; Виноградов и др., 2002; Loskutova et al., 2015; Lapteva et al., 2019], в районе поступления вод руч. Безымянного в р. Далдыкан (ст. 3) и ниже, в р. Амбарную, наблюдались признаки влияния нефтяного загрязнения на зообентос, а именно снижение численности и биомассы, сокращение числа видов бентофауны в местах тяжелого загрязнения нефтепродуктами (ст. 5, 6) и массовое развитие олигохет пелофилов ниже зоны загрязнения (ст. 13).

Изменение структуры зообентоса в р. Амбарная хорошо согласуется с данными Л. С. Кравцовой и др. [1988]. Авторы исследовали влияние водорастворимых битумов в донных отложениях на распределение гидробионтов. Максимальные значения численности и биомассы олигохет, хирономид и моллюсков отмечены при содержании водорастворимых битумов 40 мг/кг грунта. При более высоких концентрациях (82 мг/кг) происходило уменьшение количественных показателей как отдельных групп, так и зообентоса в целом. При концентрации 40 мг/кг, вероятно, создаются оптимальные условия для развития микрофлоры, повышающей пищевую ценность детрита, что способствует обилию гидробионтов. По всей видимости, по мере миграции нефтепродуктов, поступивших в русло р. Амбарной, основная часть их компонентов осела на дно реки в районе ст. 5 и 6, что привело к резкому сокращению плотности зообентоса на этих станциях. В устье р. Амбарной (ст. 13) удаление от источника загрязнений, их задержка вышерасположенными бонами, разбавление вод, увеличение глубины реки, снижение скорости ее течения и накопление органических веществ, вероятно, привели к развитию микрофлоры в грунте, что и обусловило вспышку плотности грунтоедов олигохет. По результатам некоторых экспериментальных работ [Воробьев и др., 2008] показана возможность использования *L. hoffmeisteri* для очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов. Таким образом, в р. Амбарной, особенно в устье реки, за счет развития олигохет происходят процессы ее самоочищения.

В составе зообентоса оз. Пясино, по нашим данным, преобладали разные группы донных беспозвоночных в зависимости от глубины отбора проб и типа грунта. По данным В. П. Андреева и соавт. [1999], в озере в 1992 г. на большинстве станций преобладали личинки хирономид (90 % общей численности), характерные для северных водоемов, из них оксифионтные виды *Monodiamesa bathyphila* и *Paracladopelma camptolabis* зарегистрированы и в наших пробах. Доля хирономид, по нашим данным, только в районе ст. 9 составила 50–77 % общей численности и биомассы, в остальных районах исследования доля хирономид не превышала 11 % общей численности.

Видовой состав олигохет в озере в 1992 г. не определяли, однако доля их в плотности бентоса не превышала 10 % [Андреев и др., 1999]. По нашим данным, отмечено преобладание олигохет полисапробов *L. hoffmeisteri* в районе глубоководной заиленной ст. 10, доля которых в биомассе и численности бентофауны на этой станции максимальна (40 и 79 % соответственно). Стоит отметить, что в 2020 г. существенный вклад в биомассу зообентоса на ст. 10 совместно с олигохетами вносили амфиподы *Monoporeia affinis*, которые в 1992 г. в озере не были зарегистрированы. По данным Ю. Ю. Фоориной и соавт. [2020], эти амфиподы отмечены в р. Пясино только в районе ниже устья р. Мокаритто. Известно, что амфиподы *Monoporeia affinis* обитают в озерах севера Европы и эстуариях рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана [Определитель..., 2016], их присутствие в оз. Пясино отмечено впервые. Однако Н. В. Вершинин [1963] находил этот вид в Больших норильских озерах этой же Норило-Пясинской системы, расположенных выше, в том числе в озерах Лама и Мелкое, из которых вытекает р. Норильская. Так что обнаружение *Monoporeia affinis* в оз. Пясино, куда впадает эта река, неудивительно. Обитание этого вида в верхнем озере Норило-Пясинской системы – Собачьем – подтверждено в настоящее время [Zadelenov et al., 2017].

В озере в 1992 г. отмечен низкий уровень количественного развития донной фауны и увеличение биомассы зообентоса в направлении с юга на север. Аналогичные данные получены и при распределении плотности зообентоса в 2020 г. Максимальная биомасса зообентоса в озере в 1992 г. составила 0,83 г/м<sup>2</sup>, средняя – 0,20 г/м<sup>2</sup> [Андреев и др., 1999]. По нашим данным, средняя биомасса зообентоса в озере составила 2,01 ± 1,85 г/м<sup>2</sup>, что в 10 раз превышает данные 1992 г., в основном за счет развития олигохет и амфипод в районе ст. 10. Значения индекса Шеннона, рассчитанные для донных сообществ оз. Пясино, в целом оказались низкими и колебались от 0,50 до 1,89 бит. По данным ранее проведенных исследований зообентоса оз. Пясино значения индекса Шеннона лежали в диапазоне от 0,66 до 2,59 бит [Андреев и др., 1999].

Таким образом, снижение разнообразия хирономид, увеличение доли олигохет поли-



сапробов, низкие значения индекса Шеннона в оз. Пясино в 2020 г. по сравнению с 1992 г. косвенно указывают на ухудшение экологического состояния водоема.

В целом, невысокие величины численности и биомассы зообентоса оз. Пясино характерны для озер данного региона. Так, в оз. Лама и в оз. Собачье, которые входят в Норило-Пясинскую водную систему и не подвержены существенному антропогенному воздействию, плотность зообентоса составила: в оз. Лама – 708 экз/м<sup>2</sup>, 1,20 г/м<sup>2</sup>, в оз. Собачьем – 2073 экз/м<sup>2</sup>, 3,85 г/м<sup>2</sup> [Zadelenov et al., 2017]. Однако видовое разнообразие бентофауны в оз. Лама (30 таксонов) и оз. Собачье (49 таксонов) выше, чем в оз. Пясино (13 таксонов), что подтверждается и индексом Шеннона, величины которого в оз. Лама ( $H = 2,55 \pm 0,61$  бит) и оз. Собачье ( $H = 2,37 \pm 0,63$  бит) выше, чем в оз. Пясино ( $H = 1,03 \pm 0,33$  бит). Таким образом, в водоемах Норило-Пясинской системы, не подверженных антропогенному воздействию, видовое разнообразие зообентоса выше, чем в оз. Пясино, что указывает на неблагоприятную экологическую ситуацию в последнем.

Качество воды руч. Безымянного оценено как “загрязненная”. Самым высоким уровнем загрязнения – “грязная” – из всех районов исследования отмечена вода р. Амбарной, причем на станциях как выше, так и ниже поступления загрязненных нефтепродуктами вод, вплоть до устья реки, что указывает на то, что все районы исследования подвергаются органическому загрязнению. Стоит отметить, что индикация высокого уровня загрязнения в районе станции выше поступления вод с дизельным топливом наводит на мысль, что существуют другие источники загрязнения р. Амбарной, по-видимому, хронические. По индексу сапробности вода в реках Далдыкан, Норильской, оз. Пясино (за исключением ст. 10), р. Пясино соответствовала “слабо загрязненной”. Таким образом, отмечено улучшение качества воды от района поступления нефтяного загрязнения (“грязная”) к истоку р. Пясино (“слабо загрязненная”) за счет процессов самоочищения, в частности, в р. Амбарной.

Потенциальная рыбопродуктивность оз. Пясино, ориентировочно оцененная по кормовой базе рыб-бентофагов в 3 кг/га, близка к таковой в ультраолиготрофных озерах в соответ-

ствии с классификацией С. П. Китаева [2007]. Полученная величина соответствует минимальной промысловой рыбопродуктивности в некоторых озерах Тывы [Михалев, 1989] и в горном олиготрофном оз. Ойское [Zuev et al., 2012]. Очевидно, проведение на озере Пясино каких-либо рыбоводных мероприятий при такой низкой кормовой базе нецелесообразно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные исследования, проведенные в районе Норило-Пясинской водной системы, показали, что спустя два месяца после аварийного сброса дизельного топлива и проведения работ по очистке загрязненных земель и поверхностных вод водотоков от нефти экологическая ситуация продолжает оставаться достаточно напряженной в руч. Безымянном, устье р. Далдыкан и р. Амбарной. В этих водотоках доминирование олигохет, в полном соответствии с обнаруженными во всем мире последствиями нефтяных разливов, свидетельствует о влиянии аварии на бентосные сообщества данных рек. Наличие и доминирование на других станциях – в оз. Пясино и истоке р. Пясино – личинок ручейников, хирономид, веснянок, а также амфипод, первыми исчезающих при аварийном нефтяном загрязнении, свидетельствует об отсутствии значимого нефтяного загрязнения этих участков. Тем не менее отмечено снижение разнообразия хирономид, увеличение доли олигохет полисапробов, низкие значения индекса Шеннона в озере Пясино в 2020 г. по сравнению с 1992 г.

Работа поддержана хоздоговором № 223-ЕП-2020/07 с Сибирским отделением РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В. П., Максимов А. А., Сороколетова Е. Ф., Шарыгин А. А. К оценке состояния донных отложений Норило-Пясинской системы // Вод. ресурсы. 1999. Т. 26, № 4. С. 472–477.
- Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутр. вод. 2000. № 1. С. 68–82.
- Балушкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. Т. 272. С. 266–292.
- Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сиби-

- ри / ГПНТБ СО РАН, Ин-т вод и экол. проблем. Новосибирск, 2007. 87 с.
- Богданов А. Л. История изучения, морфометрия и гидрология озер // География озер Таймыра. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. С. 184–193.
- Вершинин Н. В. Норильские озера и их донная фауна // Гидробиологические работы на водоемах Советского Союза. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 63–72.
- Винберг Г. Г. Итоги исследований пресноводных сообществ всех трофических уровней // Ресурсы биосферы (итоги советских исследований по МБП). Вып. 2. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. С. 145–157.
- Винберг Г. Г. Основы составления биотического баланса // Исследование взаимосвязи кормовой базы и рыбопродуктивности на примере озер Забайкалья. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1986. С. 188–194.
- Виноградов Г. А., Березина Н. А., Лаптева Н. А., Жариков Г. П. Использование структурных показателей бактерио- и зообентоса для оценки качества донных отложений (на примере водоемов Верхневолжского бассейна) // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29, № 3. С. 329–336.
- Воробьев Д. С., Франк Ю. А., Залозный Н. А., Лушников С. В., Ступакова Л. П. Перемещение *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta, Tubificidae) в нефтезагрязненных илах // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2008. № 2. С. 82–89.
- Голубева Г. В. Индикационное значение отдельных форм хирономид // Экология гидробионтов водоемов Западного Урала. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1988. С. 43–51.
- Иванов В. В., Румянцева Е. В. Многолетняя изменчивость годового стока воды и химических веществ Норило-Пясинской водной системы в условиях антропогенного воздействия // Вода: химия и экология. 2011. № 12. С. 23–28.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. 395 с.
- Кравцова Л. С., Лезинская И. Ф., Кицук Т. И. Бентофауна на участках нефтегазопроявлений озера Байкал // Гидробиол. журн. 1988. Т. 24, № 5. С. 90–93.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 19 с.
- Михалев Ю. В. Водный и рыбохозяйственный фонд Красноярского края и Тувинской АССР // Рыбохозяйственные исследования на водоемах Красноярского края: сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Л., 1989. Вып. 296. С. 100–112.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолыхина. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. 457 с.
- Пшеницына В. Н. Региональный подход к биоиндикации загрязненных вод // Вод. ресурсы. 1986. № 1. С. 123–127.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 318 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.
- Румянцева Е. В. Анализ многолетней изменчивости водных ресурсов Норило-Пясинской озерно-речной системы в условиях антропогенного воздействия: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2012. 24 с.
- Тодераш И. К. Функциональное значение хирономид в экосистемах водоемов Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1984. 181 с.
- Финогенова Н. П., Алимов А. Ф. Оценка степени загрязнения вод по составу донных животных // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1976. С. 95–106.
- Форина Ю. Ю., Ерёмкина М. В., Заделёнов В. А. Кормовая база и промысел рыбы в бассейне реки Пясины // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. Красноярск: Краснояр. гос. агр. ун-т, 2020. С. 156–163.
- Холмогорова Н. В. Динамика структуры макрозообентоса в условиях нефтяного загрязнения донных отложений малых рек Удмуртии // Вестн. Том. гос. ун-та. 2007. № 304. С. 187–190.
- Bertrand K., Hare L. Evaluating benthic recovery decades after a major oil spill in the Laurentian Great Lakes // Environ. Sci. & Technol. 2017. Vol. 51. P. 9561–9568.
- Harrel R. C. Effects of a crude oil spill on water quality and macrobenthos of a southeast Texas stream // Hydrobiologia. 1985. Vol. 124. P. 223–228.
- Lapteva E. M., Loskutova O. A., Kholopov Y. V. Environmental state of a small northern river after an emergency discharge of oil products // Water Resources. 2019. Vol. 46. P. 738–747.
- Loskutova O. A., Zelentsov N. I., Shcherbina G. K. Fauna of Chironomids (Diptera, Chironomidae) of the Kolvva River (Pechora Basin) in conditions of oil pollution // Inland Water Biol. 2015. Vol. 8. P. 276–286.
- Poulton B. C., Finger S. E., Humphrey S. A. Effects of a crude oil spill on the benthic invertebrate community in the Gasconade River, Missouri // Arch. Environ. Contaminat. Toxicol. 1997. Vol. 33. P. 268–276.
- Zadelenov V. A., Dubovskaya O. P., Bazhina L. V., Glushchenko L. A., Isaeva I. G., Kleush V. O., Semenchenko K. A., Matasov V. V., Shadrin E. N. New data on biota of some lakes in the western part of the Putorana Plateau // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2017. Vol. 10, N 1. P. 87–105.
- Zuev I. V., Dubovskaya O. P., Ivanova E. A., Glushchenko L. A., Shulepina S. P., Ageev A. V. Evaluation of the potential fish productivity of Lake Oiskoe (Ergaky Mountain range, West Sayan) basing on food supply // Contemporary Problems of Ecology. 2012. Vol. 5, N 4. P. 470–479.
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. 175 S.

# Zoobenthos of Lake Pyasino and the rivers flowing into it after the diesel spill in 2020

S. P. SHULEPINA<sup>1</sup>, O. P. DUBOVSKAYA<sup>1, 2</sup>, L. A. GLUSHCHENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Siberian Federal University*  
660041, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79  
E-mail: shulepina@mail.ru

<sup>2</sup>*Institute of Biophysics of Siberian Branch of Federal Research Center*  
“Krasnoyarsk Science Center” of Russian Academy of Sciences  
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/5

The species composition and quantitative characteristics of the zoobenthos of Lake Pyasino and rivers flowing into it after the diesel spill have been analyzed. The production of zoobenthos and potential production of benthivorous fish in Lake Pyasino have been calculated. A small number of zoobenthos species, low values of abundance and biomass were revealed. In the Bezymyanny stream, the mouth of the Daldykan and Ambarnaya rivers, oligochaetes *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede and *Tubifex tubifex* (O. F. Muller) dominated in zoobenthos abundance and biomass. In Lake Pyasino and the Pyasina River outflow, larvae of caddis flies, chironomids, stoneflies, and amphipods prevailed. In the area of deep-water silted station of Lake Pyasino, oligochaetes *L. hoffmeisteri* developed, the proportion of which in the benthofauna at this station (40 and 79 % of the total biomass and abundance respectively) was maximal. Amphipod *Monoporeia affinis* (Lindström) dominated in biomass at this station. A decrease in chironomid diversity, an increase in the proportion of polysaprobic oligochaetes, and lower values of the Shannon index in Lake Pyasino in 2020 compared to 1992 were noted. The low abundance ( $2181 \pm 2048$  ind./m<sup>2</sup>) and biomass ( $2.01 \pm 1.85$  g/m<sup>2</sup>) of zoobenthos in the lake resulted in low values of zoobenthos production and potential production of benthivores fish (3 kg/ha per season). Based on the state of zoobenthos, improvement of water quality has been observed from river sections exposed to the oil spill to the lake and the outflow of the River Pyasina.

**Key words:** zoobenthos, species composition, abundance, biomass, production, fish productivity, oil spills, water quality.