

Зоопланктон оз. Пясино и впадающих в него рек после разлива дизельного топлива в 2020 г.

О. П. ДУБОВСКАЯ^{1, 2}, О. Е. ЁЛГИНА¹, И. И. МОРОЗОВА²

¹Институт биофизики Федерального исследовательского центра
“Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской Академии наук”
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50
E-mail: dubovskaya@ibp.krasn.ru

²Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

Статья поступила 01.02.2021

После доработки 09.02.2021

Принята к печати 12.02.2021

АННОТАЦИЯ

Большой норильской экспедицией СО РАН в начале августа, через два месяца после разлива 20 тыс. т дизельного топлива в руч. Безымянный, а с ним и в реки Далдыкан и Амбарную, отобраны пробы сетного зоопланктона на 13 станциях, включавших как участки этих рек, так и оз. Пясино с истоком из него р. Пясино. Проведен сравнительный по этим станциям анализ видового состава, численности, биомассы и индекса сапробности зоопланктона. Рассчитана продукция коловраточного и рачкового планктона и потенциальная рыбопродукция планктофагов в оз. Пясино. Показано постепенное улучшение качества воды по зоопланктону от речных участков, подвергнутых сливу нефтепродуктов, до северной части озера и истока р. Пясино. Низкие численность и биомасса зоопланктона в оз. Пясино (в среднем 43800 ± 17550 экз./м³, $112,8 \pm 26,2$ мг/м³) за счет доминирования коловраток (*Ploesoma truncatum* (Levander), *Viralpus hudsoni* (Imhof), *Conochilus unicornis* Rousselet) обусловили низкие величины продукции зоопланктона и потенциальной продукции рыб планктофагов (0,85 кг/га за сезон).

Ключевые слова: зоопланктон, оз. Пясино, видовой состав, численность, биомасса, продукция, рыбопродуктивность, разливы нефти, качество воды.

Аварийным разливам нефти и нефтепродуктов подвержены не только морские экосистемы, но и пресноводные. Например, разлив 10 тыс. т нефти в результате разрыва резервуара произошел в 1950 г. в заливе Парри-Саунд оз. Онтарио [Bertrand, Nare, 2017], разлив 103–126 тыс. т нефти – в 1994 г. в арктической зоне России, когда нефть попала в р. Колва и затем в р. Уса, приток р. Печоры [Jernelov, 2010; Захаров и др., 2011; Fefilova, 2011].

Влияние нефти и нефтепродуктов на зоопланктон неоднозначно. С одной стороны, нефтяные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) оказывают токсический эффект на зоопланктон [Perhar, Arhonditis, 2014]. В тундровых термокарстовых озерах на Аляске *Daphnia middendorffiana* Fisher и другие виды-фильтраторы погибали в течение нескольких дней после разлива нефти, и *Daphnia* отсутствовала в этих озерах даже

через 7 лет после аварии [Miller et al., 1978]. Виды дафний среди кладоцер известны как наиболее чувствительные к различным токсикантам [Дубовская, 2009].

С другой стороны, нефтяное загрязнение может оказывать стимулирующее действие на зоопланктон через развитие низших компонентов трофической цепи, служащих пищей зоопланктону. Известно, что сразу после разливов нефти микроорганизмы, бактерии, грибы, дрожжи, фитофлагелляты начинают разлагать ее компоненты (преимущественно низкомолекулярные алифатические углеводороды) и дают вспышку численности, наблюдаемую в течение нескольких дней [Davenport, 1982; Jernelov, 2010; Perhar, Arhonditsis, 2014]. Эти микроорганизмы служат пищей для мелкого зоопланктона – простейших и коловраток, которые в свою очередь могут потребляться крупными зоопланктерами – копеподами [Davenport, 1982; Fefilova, 2011]. То есть развивается “микробная петля” и затем питающиеся ее компонентами коловратки, копеподы и некоторые кладоцеры. Так что при нефтяном загрязнении зоопланктон не столько гибнет, сколько меняется его видовой состав и количественные показатели [Davenport, 1982; Fefilova, 2011]. Так, в русле р. Колва в первый после аварии летний сезон (1995 г.) численность зоопланктона была низка (50 экз./м³), но сравнима с контрольными показателями 1955 г., в последующие сезоны повышалась – до максимума через 5 лет (в 2000 г.), составившем 123 000 экз./м³. При этом в середине русла реки биомасса крупной хищной коловратки *Asplanchna priodonta* Gosse достигала 1,6 г/м³, в реке повысилась численность мирных копепод и возросло общее число видов зоопланктона. Только в 2007 г., через 7 лет после максимума, численность зоопланктона в р. Колва снизилась до 400 экз./м³ [Fefilova, 2011]. Таким образом, был отмечен стимулирующий эффект нефтяного загрязнения на зоопланктон реки (включая верхние бьефы гидрозатов на притоках), продолжавшийся в течение нескольких лет в связи с постоянным поступлением нефтепродуктов из донных отложений и с берегов [Захаров и др., 2011; Fefilova, 2011].

Заполняющее оз. Пясино является мелководным со множеством песчаных отмелей

и островов, особенно в южной части, максимальной шириной около 15 км и протяженностью с юга на север 70 км [Богданов, 1985]. На севере из озера вытекает р. Пясино, впадающая в Карское море, а на юге в него вливаются реки Норильская, Щучья, Амбарная и др., так что озеро является проточным с коэффициентом условного водообмена около единицы [Иванов, Румянцева, 2011]. Вышеназванные реки и озеро испытывают многолетние антропогенные нагрузки от различных стоков предприятий “Норникеля” и г. Норильска, в том числе и разливов нефтепродуктов (характеристика озера, его загрязнений и обитателей дана в статье М. И. Гладышева настоящего спецвыпуска). На озере в связи с его загрязнением прекращен лов рыбы с 1956 г. [Рамазанов, 1969].

Опубликованные данные о зоопланктоне оз. Пясино имеются только за июль и август 1992 г. в статье [Andreev et al., 2003], согласно которым биомасса сетного зоопланктона возрастала от южного участка к северному от 8,9 до 173,2 мг/м³ (средняя по шести станциям, рассчитанная нами, составила 66,4 ± 30,8 мг/м³), индекс сапробности Пантле и Букка (S) варьировал в пределах 1,50–1,99. Из видов указаны только доминирующие коловратки: *Euchlanis dilatata* Ehrenberg – в южной части, род *Synchaeta* – на севере, а в восточной части озера – *Conochilus unicornis* Rousset. В р. Норильской биомасса зоопланктона варьировала от 1,2 до 11,7 мг/м³, S – от 1,8 до 1,95.

Большой норильской экспедицией СО РАН в начале августа, через два месяца после известной аварии на хранилище дизельного топлива ТЭЦ-3 в г. Норильске, собраны пробы сетного зоопланктона в фоновых и подверженных разливу дизтоплива участках рек Далдыкан и Амбарной, в р. Норильской, в оз. Пясино и истоке р. Пясино. В наши задачи входил сравнительный – по участкам отбора проб – анализ качественных (видовой состав, доминанты) и количественных (численность и биомасса) характеристик, качества воды по индексам сапробности зоопланктона. Для оценки перспектив зарыбления оз. Пясино как возможной компенсации экологического ущерба рассчитана продукция зоопланктона и по этой кормовой базе – потенциальная рыбопродукция планктофагов в оз. Пясино.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизельное топливо попадало в руч. Безымянный, затем с его водами – в р. Далдыкан и с ее водами в р. Амбарную, которая несла его в южную часть оз. Пясино. Загрязняющие поверхностный сток нефтепродуктов боны располагались в нижней части р. Амбарной. Пробы отбирали на 13 станциях (по одной на станции), расположенных на реках выше (ст. 2 и 4) и ниже (ст. 1, 3, 5, 6, 13) слива дизтоплива, кроме того, в р. Норильской (ст. 12), оз. Пясино (ст. 7–10) и истоке р. Пясино из озера (ст. 11) (см. карту в статье Д. М. Безматерных и др. настоящего спецвыпуска).

Пробу сетного зоопланктона получали: 1) на речных участках и на мелководье оз. Пясино – процеживанием через капроновую сеть Апштейна (с ячейей 82 мкм) 100 л воды, зачерпнутых ведром; 2) на более глубоких участках оз. Пясино (ст. 8 и 10) протягиванием от дна до поверхности 3 раза сети Джеди (диаметр входного отверстия 18 см, ячейя 82 мкм). Все пробы фиксировали формалином до окончательной концентрации 4 %. Пробы обрабатывали в лаборатории в осадочной камере Утермеля под инвертированным микроскопом Leica DMIL LED (Германия) с измерительной линейкой, объем просчитанных квот составлял 0,06–0,27 объема концентрированной пробы. Оставшуюся часть пробы просматривали под биноклем в камере Богорова для учета крупных и редких видов. Для определения видов использовали также световой микроскоп PZO (Польша, Варшава). Видовая номенклатура дана в соответствии с определителем [Определитель..., 2010] или [Кутикова, 1970]. Биомассу рассчитывали по известным уравнениям связи длины и массы тела (см. обзор: [Кононова, Фефилова, 2018]), для определения средней длины измеряли до 30 экз. каждого вида.

Индекс сапробности по Пантле и Букку (S) на каждой станции рассчитывали как средневзвешенный по численности индикаторных видов, индикаторную значимость (индивидуальные сапробности) видов брали из таблиц [Wegl, 1983]. Качество воды оценивали по величине индекса в соответствии с руководящим документом [РД 52.24.309-2016]. Фоновыми называли станции, расположенные выше притока вод, загрязненных дизельным топливом.

Первый вид в ранжированном по убыванию численности (биомассы) ряду видов на станции называли доминирующим или доминантом по численности (биомассе) на этом участке. В доминирующий комплекс относили первые 3–4 вида из этого ряда. Для учета видов истинно планктических – обитающих преимущественно в пелагиали водоемов – руководствовались таблицей видов и их биотопических предпочтений в Дополнительных материалах статьи [Schartau et al., в печати].

Продукцию коловраточного и рачкового зоопланктона ($P_{зпл}$) в оз. Пясино за сезон рассчитывали по P/V коэффициенту за сезон (V – биомасса), равному 7,5, среднему для зоопланктона северных водоемов [Винберг, 1976]. Потенциальную продукцию рыб-планктофагов ($P_{рыб}$) за сезон в оз. Пясино рассчитывали по уравнению $P_{рыб} = (0,5 \cdot P_{зпл}) / KK = 0,05 P_{зпл}$, где KK – кормовой коэффициент при потреблении рыбой зоопланктона, равный 10 [Методические рекомендации, 1984]. При расчетах биомассу зоопланктона ($V_{зпл}$) переводили в калории, и $P_{рыб}$ в калориях выражали в единицах сырой массы, используя величины калорийности сырой массы: зоопланктона – 0,5 кал/мг, рыб – 1 кал/мг [Винберг, 1986]; среднюю глубину оз. Пясино принимали равной 4 м, площадь – 73 500 га [Богданов, 1985].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В августе 2020 г. в пробах зоопланктона из руч. Безымянного, рек Далдыкан, Амбарной и Норильской (ст. 1–6 и 12, исключая ст. 13) число видов/групп зоопланктеров было невелико (табл. 1, медиана – восемь видов), численность и биомасса малы (табл. 2, медианы 458 экз/м³ и 4,5 мг/м³), а истинно планктические виды отсутствовали (на ст. 1–2 и 4–6, см. табл. 2) или их доля в общей численности зоопланктона была невелика (17–31 %, ст. 12 и 3 соответственно, см. табл. 2). Доминировали фитофильные коловратки рода *Euchlanis* и придонные бделлоиды (коловратки отр. Bdelloida), придонные циклопы и их науплиальные и копеподитные стадии (см. табл. 1 и 2).

Качественные и количественные различия зоопланктона в реках Далдыкан и Амбарной между фоновыми и находящимися под влиянием нефтепродуктов станциями были

Т а б л и ц а 1
Видовой состав сетного зоопланктона оз. Пясино и впадающих в него водотоков 4–11 августа 2020 г.

Вид, группа	руч. Безымянный		р. Далдыкан		р. Амбарная		р. Норильская		оз. Пясино			р. Пясино		
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6	Ст. 7	Ст. 8	Ст. 9	Ст. 10	Ст. 11	Ст. 12	Ст. 13	Ст. 14
Rotifera (Колероватки):														
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse			дч, дб*											
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)														
<i>Cephalodella fluviatilis</i> (Zawadowsky)														
<i>C. gibba</i> (Ehrenberg)				++										
<i>Collotheca pelagica</i> (Rousselet)														
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet														
<i>Dicranophorus forcipatus</i> (Müller)			++											
<i>Encentrum</i> sp.														
<i>Eosphora najas</i> Ehrenberg				++										
<i>Eothinia</i> sp.			++	++										
<i>Euchlanis dilatata lucksiana</i> Hauer			++	дч										
<i>E. lyra</i> Hudson			++	++										
<i>E. meneta</i> Myers			дч, дб	++										
<i>Filinia</i> sp.				++										
<i>Gastropus stylifer</i> Imhof														
<i>Ituna</i> sp.						++								
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)														
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)														
<i>K. quadrata</i> (Müller)														
<i>Keratella</i> sp.														
<i>Lecane acronycha</i> Harr. et Myers			++											
<i>L. luna</i> (Müller)						++								
<i>Lecane (Monostyla) lunaris</i> (Ehrenberg)				++										
<i>Lepadella ovalis</i> (Müller)				++										
<i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg)				++										
<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg)				++										
<i>N. squamula</i> (Müller)				++										
<i>N. foliacea</i> (Ehrenberg)				++										
<i>Ploesoma truncatum</i> (Levander)				++										
<i>Polyarthra</i> n. det.														
<i>Proales</i> sp.				++										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Proalides</i> sp.						++							
<i>Resticula</i> sp.							++						
<i>Synchaeta lakowitziana</i> Lucks								++		++		++	++
<i>Synchaeta</i> n. det.									++			++	
<i>Trichocerca longiseta</i> (Schrank)				++									
<i>Trichocerca</i> sp.				++									
<i>Trichotria pocillum</i> (Müller)				++		++							
<i>T. tetractis</i> (Ehrensberg)				++		++							
<i>Vdelloida</i> gen. sp.	дч, дб		++	++	++	++			++				
Соперода (Веслоногие раки):													
Науили Соперода	++	++	++	++	++	дч	дч	++	++	++	++	++	++
Копеподиты Cyclopoida		++	++	++	++	++	++	дч, дб	++	++	++	++	++
Cyclopoida:													
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)						++							
<i>Eucyclus serrulatus</i> (Fischer)				++	++	дб	++						++
<i>Paracyclus fimbriatus</i> s. lat.	++			дб	дб	++	++						
<i>Megacyclus viridis</i> (Jurine)						++	++				++		
<i>Acanthocyclus</i> sp.						++	++						
<i>Cyclus vicinus</i> Ujjanin						++	++						++
<i>Mesocyclus leuckarti</i> (Claus)						++	++						++
Нарастикоида n. det.													
Саланоида:													
<i>Heterosope appendiculata</i> Sars							++		++	++	++	++	++
<i>Eudiaptomus</i> sp.							++						++
<i>Leptodiaptomus angustilobus</i> (Sars)													
Cladocera (Ветвистоусые раки):													
<i>Daphnia</i> (<i>Daphnia</i>) <i>galeata</i> Sars							дб				++		++
<i>D. (D.) longiremis</i> Sars											++	++	дч, дб
<i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller)										++	++		
<i>B. a. (Eubosmina)</i> cf. <i>longispina</i> Leydig								++	дб				
<i>Chydorus</i> cf. <i>sphaericus</i> (O. F. Müller)				++	++		++	++					++
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus)					++		++	++					++
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)									++				++
Всего видов и групп	3	4	8	22	11	14	35	5	15	15	14	16	20

П р и м е ч а н и е. ++ – вид зарегистрирован; дч – первый доминант по численности, дб – по биомассе; фоновые станции выделены жирным шрифтом.

* В пробе доминируют мелкие мезобентические нематоды (около 50000 в м³), которых заглаживают хищные коловратки *Asplanchna priodonta*.

Общая численность, биомасса и доминирующие виды (первые три в ранжированном ряду численностей/биомасс на станции), доля (% ипл) истинно планктических видов в общей численности/биомассе сетного зоопланктона в оз. Пясино и впадающих в него водотоках 4–11 августа 2020 г.

Описание станции	№ станции	Численность		Биомасса		Доминирующий комплекс видов по численности	Доминирующий комплекс видов по биомассе
		экз./м ³	% ипл	мг/м ³	% ипл		
руч. Безымянный, зона разлива	1	160	0	0,5	0	Bdelloida Науплии Copepoda	Bdelloida <i>Paracyclops fimbriatus</i>
р. Далдыкан, фон	2	460	0	1,0	0	<i>Euchlanis lyra</i> Науплии Copepoda Копеподиты Cyclopoida	<i>E. lyra</i> Копеподиты Cyclopoida Науплии Copepoda
р. Далдыкан, ниже руч. Безымянный	3	290	31	4,5	88,5	Nematoda <i>Asplanchna priodonta</i> Коловратки Bdelloida	Nematoda <i>A. priodonta</i> Копеподиты Cyclopoida
р. Амбарная, фон	4	5640	0	25,0	0	<i>Euchlanis dilatata lucksiana</i> + <i>E. lyra</i> Науплии Copepoda <i>Trichotria pocillum</i>	<i>Megacyclops viridis</i> Копеподиты Cyclopoida <i>Eucyclops serrulatus</i> <i>E. d. lucksiana</i> + <i>E. lyra</i>
р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан	5	2140	0	7,2	0	<i>E. d. lucksiana</i> + <i>E. lyra</i> Bdelloida, Науплии Copepoda	<i>M. viridis</i> Bdelloida <i>E. d. lucksiana</i> + <i>E. lyra</i>
р. Амбарная, низовье	6	20 360	0	58,8	0	Науплии Copepoda <i>Lecane luna</i> <i>E. serrulatus</i>	<i>E. serrulatus</i> <i>M. viridis</i> Науплии Copepoda
р. Амбарная, устье ниже бон	13	34 750	23,4	272,7	58,5	Науплии Copepoda <i>T. pocillum</i> <i>Kellicottia longispina</i>	<i>Daphnia galeata</i> Копеподиты Cyclopoida Науплии Copepoda
р. Норильская, р-н аэропорта Валек	12	252	16,7	1,7	12,4	Копеподиты Cyclopoida Науплии Copepoda <i>Synchaeta lakowitziana</i>	Копеподиты Cyclopoida <i>Bosmina</i> (E.) cf. <i>longispina</i> Науплии Copepoda
оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	113 100	14,9	198,0	56,0	<i>Ploesoma truncatum</i> <i>Bipalpus hudsoni</i> <i>B. (E.) cf. longispina</i>	<i>B. (E.) cf. longispina</i> <i>P. truncatum</i> <i>B. hudsoni</i>
мыс Тонкий, центр, глубоководная станция	8	26 840	67,6	35,0	79,7	<i>P. truncatum</i> <i>Keratella cochlearis</i> <i>Conochilus unicornis</i> *, р. <i>Polyarthra</i>	<i>C. unicornis</i> <i>P. truncatum</i> <i>B. hudsoni</i> <i>P. Synchaeta</i>
оз. Пясино, мыс Гольй, мелководье	9	24 260	62,4	109,4	85,4	<i>P. truncatum</i> <i>B. hudsoni</i> <i>Bosmina longirostris</i> , <i>K. cochlearis</i>	<i>A. priodonta</i> <i>B. hudsoni</i> <i>B. longirostris</i> <i>P. truncatum</i>
мыс Гольй, глубоководная станция	10	36 120	74,4	125,6	92,2	<i>C. unicornis</i> <i>P. truncatum</i> <i>B. hudsoni</i> , <i>K. cochlearis</i>	<i>A. priodonta</i> <i>C. unicornis</i> <i>B. longirostris</i> <i>B. hudsoni</i>
р. Пясино, исток из озера	11	18 670	74,1	95,9	91,4	<i>B. longirostris</i> <i>P. truncatum</i> <i>C. unicornis</i> , <i>B. hudsoni</i>	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> <i>C. unicornis</i> <i>B. hudsoni</i>

* Виды, перечисленные через запятую, имеют равную численность, тогда в списке доминантов по биомассе помещается четвертый в ранжированном ряду биомасс вид.

выражены. Так, в р. Далдыкан ниже притока вод руч. Безыманный с дизельным топливом (ст. 3) по сравнению с фоновой (ст. 2) уменьшилось количество характерной для фоновой станции фитофильной коловратки *E. lyra*, но появились хищные коловратки, в частности доминировала *A. priodonta* (см. табл. 1), в желудках которой обнаружены мелкие (мейобентические) нематоды, в массе развившиеся здесь среди покрывших донные нитчатки коричнево-черных частиц и взмучиваемые в толщу воды (более 5000 экз. нематод в пробе зоопланктона, более 50000 экз. в пересчете на м³). В пробу макрозообентоса они не попали (см. статью С. П. Шулепиной и др. настоящего спецвыпуска). В р. Амбарной на фоновом участке (ст. 4) было высокое видовое богатство (22 вида) фитофильных коловраток, развивающихся на донных нитчатках (с доминированием представителей рода *Euchlanis*), и характерных для рек других коловраток (например, родов *Trichotria*, *Notholca*), а также придонных циклопов, а на ст. 5, ниже впадения загрязненных нефтепродуктами вод, имело место существенное уменьшение как видового богатства (в 2 раза – до 11 видов, см. табл. 1), так и численности и биомассы (в 3 раза, см. табл. 2). Еще ниже (ст. 6) попавшие в пробу нитчатки также были коричнево-черного цвета, как и детрит разного размера, по визуальным оценкам присутствовали мертвые полуразложившиеся особи (умершие до отбора пробы), составлявшие около 36–39 % общего количества науплий циклопов и коловраток *Lecane luna*, многие особи содержали в теле заметные черные комочки, чего не наблюдалось на фоновых станциях. Тем не менее численность и биомасса живого зоопланктона здесь уже превышали в 3–2 раза таковые на фоновой станции (см. табл. 2).

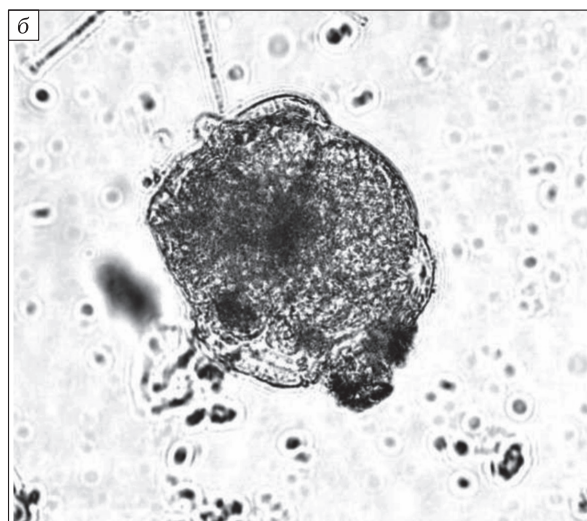
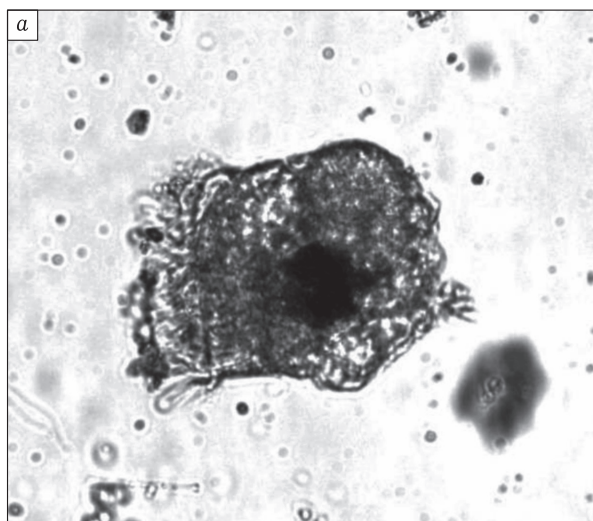
На самой нижней ст. 13, расположенной в р. Амбарной, ниже всех бон в глубоком месте (около 2 м), в условиях слабой скорости течения наблюдали максимальные (по всем станциям, включая озерные) видовое богатство зоопланктона (35 видов, см. табл. 1) и биомассу (272,7 мг/м³, см. табл. 2), довольно высокую долю (59 % в биомассе) истинно планктических видов (см. табл. 2).

В мелководном и перемешиваемом ветром оз. Пясино (как и в истоке р. Пясино) разви-

вался коловраточный зоопланктон с доминированием литорального вида *Ploesoma truncatum* и пелагических видов *Bipalpus hudsoni*, *C. unicornis*, *Keratella cochlearis*, *A. priodonta* (см. табл. 1 и 2). Из низших раков в доминирующие комплексы по биомассе и численности попали только мелкие кладоцеры *Bosmina longirostris* и *B. (Eubosmina) cf. longispina* (см. табл. 2). В северной части озера (ст. 9, 11) в небольшом количестве обнаружены *D. longiremis*, хищные кладоцеры *Polyphemus* и *Leptodora* (см. табл. 1). Доля пелагических видов варьировала в пределах 15–74 % численности и 56–92 % биомассы, наибольшая была характерна для глубоководных станций (см. табл. 2). Биомасса зоопланктона варьировала от 35,0 до 198,0 мг/м³ (см. табл. 2). Средняя по озеру (ст. 7–11) численность составила 43800 ± 17550 экз./м³, биомасса – 112,8 ± 26,2 мг/м³.

Несмотря на удаленность озерных станций от источника нефтепродуктов – р. Амбарной, на ст. 7 и 8 обращало внимание наличие у многих коловраток (рисунок) темных 2–4 фекальных или/и пищевых комочков, по-видимому, содержащих частицы нефтепродуктов. Обычно фекальные или пищевые скопления у этих коловраток не видны. Индекс сапробности отнес две северные станции, 10 и 11 (исток из озера), к I классу качества вод – условно чистые; все остальные станции озера и обследованных рек – ко II классу – слабо загрязненные (табл. 3). Однако внутри этого класса величина индекса убывала (качество воды улучшалось) как раз от участков рек, подвергнутых разливу дизельного топлива, до озерных, а именно ранжированный ряд станций в порядке убывания S в соответствии с табл. 3 следующий: ст. 1, 5, 3, 6 (подверженные влиянию разлива нефтепродуктов), 4 (фоновая р. Амбарная), 2 (фоновая р. Далдыкан), 13 и 7 (устье Амбарной ниже бон и южная часть оз. Пясино), 12 (р. Норильская), 8 и 9 (оз. Пясино, центр и северная часть).

В связи с доминированием в озере коловраток потенциальная продукция рыб планктофагов, основанная на продукции коловраток, была выше, чем на продукции кладоцер и копепод, и суммарная составляла 0,85 кг/га (табл. 4).



Scaphocephalus unicornis с черными скоплениями (комочками) в теле:
 а – экземпляр с одним большим скоплением; б – с несколькими скоплениями

Т а б л и ц а 3

Оценка качества воды по индексу сапробности Пантле и Букка (S) по численности сетного зоопланктона

Дата	Описание станции	№ станции	Индекс сапробности	Класс качества воды*
04.08.2020	руч. Безымянный, зона разлива дизтоплива	1	2,23	II – слабо загрязненная (1,5–2,5)
	р. Далдыкан, выше разлива (фон)	2	1,60	
05.08.2020	р. Далдыкан, ниже впадения руч. Безымянного	3	1,73	
	р. Амбарная, выше впадения р. Далдыкан (фон)	4	1,63	
09.08.2020	р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан – ниже разлива	5	1,78	
	р. Амбарная, низовье (ниже разлива)	6	1,65	
11.08.2020	р. Амбарная, ниже всех бон	13	1,59	I – условно чистая (<1,5)
	р. Норильская, в р-не аэропорта Валек	12	1,50	
	оз. Пясино, мыс Тонкий у берега	7	1,59	
	центр – глубоководная станция	8	1,58	
	оз. Пясино, мыс Голый, мелководье	9	1,56	
	глубоководная станция	10	1,49	
	Исток р. Пясино из озера	11	1,49	

* По [РД 52.24.309-2016].

Т а б л и ц а 4

Средние для оз. Пясино (по ст. 7–11) биомассы ($B_{зпл}$) коловраток и ракообразных и рассчитанные по ним продукции ($P_{зпл}$) и потенциальные продукции рыб ($P_{рыб}$) за сезон

Группа	$B_{зпл}$	$P_{зпл} = 7,5 \cdot B_{зпл}$		$P_{рыб} = 0,05 \cdot P_{зпл}$	$P_{рыб} \cdot 4 \text{ м}$	$P_{рыб}$
	мг/м ³	мг/м ³	кал/м ³	кал/м ³ = мг/м ³	мг/м ²	кг/га
Коловратки	73,2 ± 14,3	549,0	274,5	13,7	54,9	0,549
Ракообразные (клароцеры и копеподы)	39,6 ± 16,9	297,0	148,5	7,4	29,7	0,297
Сумма	112,8	846,0	423,0	21,2	84,6	0,846

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что сетной рачково-коловраточный зоопланктон в быстротекущих водотоках как функционирующее стабильное сообщество отсутствует, а состав и количество рачков и коловраток в планктонных пробах из реки являются результатом процессов выноса из мест их обитания (прибрежного мелководья, придонной зоны, заводей, затонов, вышележащих водоемов) и их последующего сноса, размножения или элиминации. В пробах зоопланктона из реки рачки и коловратки присутствуют, как правило, в небольших количествах, большинство – представители придонно-прибрежного и фитофильного сообществ, т. е. представители планктобентоса и мейобентоса [Грезе, 1957; Телеш, 1986; Дубовская и др., 2004]. Лимнический (озерный) зоопланктон развивается при скоростях стокового течения $<0,25$ м/с [Дубовская, 2009; Tang et al., 2014], коловраточный реопланктон (речной) – $<0,5-0,8$ [Грезе, 1957]. В соответствии с этим наши данные показали в целом невысокое видовое богатство, низкие численность и биомассу сетного зоопланктона в водотоках, доминирование фитофильных и придонных коловраток, придонных циклопов и их ювенильных стадий. На станциях, наиболее близких к источнику нефтепродуктов (1, 3, 5), можно констатировать угнетение зоопланктона в виде уменьшения видового богатства и численности по сравнению с фоновыми станциями, однако уже на ст. 3 в р. Далдыкан отмечено развитие нематод и коловраток *Asplanchna*, а ниже, в р. Амбарной – превышение фоновой биомассы зоопланктона в 3 раза. Это может свидетельствовать о наличии дополнительных органических ресурсов для развития зоопланктона, поставляемых разливом нефтепродуктов через микробиальную петлю. То есть поступающее с нефтепродуктами органическое вещество способствует развитию бактерий и простейших, оказывая стимулирующий эффект и на их потребителей – зоопланктон, как это отмечается в литературе [Davenport, 1982; Fefilova, 2011], при этом меняется видовой состав зоопланктона, а количественные показатели возрастают. Появление мелких нематод и хищных коловраток в р. Далдыкан через два месяца после аварии представляется аналогичным массовому развитию *Asplanchna* на р. Колве, зарегистриро-

ванному через несколько лет после крупного нефтяного разлива [Fefilova, 2011]. Массовое развитие зоопланктона ниже бон в р. Амбарной (ст. 13) можно назвать “вспышкой развития” [Дубовская, 2009] или “вспышкой трофии” (напр., [Цееб, 1978]), которая наглядно подтверждает отсроченный стимулирующий эффект органического загрязнения нефтепродуктами. Возможно, здесь имеет место и “экотонный (краевой) эффект”, означающий увеличение разнообразия и плотности сообществ на их границах, в переходной зоне, в частности, при замедлении скорости течения ниже критической в устьевой зоне реки при впадении ее в озеро или в верхней части водохранилища [Дубовская, 2009]. Таким образом, обнаруженный в нашей работе стимулирующий эффект нефтяных разливов на зоопланктон через “микробиальную петлю” добавляет еще один случай к отмеченным ранее на других водных системах, в том числе – арктических [Davenport, 1982; Fefilova, 2011; Perhar, Arhonditsis, 2014].

Зоопланктон оз. Пясино в августе 2020 г. состоял из коловраток, как и по данным [Andreev et al., 2003] в июле – августе 1992 г., когда в разных районах озера доминировали коловратки рода *Synchaeta*, *E. dilatata*, *C. unicornis*, присутствующие и иногда доминирующие и в наших пробах 2020 г. Кроме этих видов, в наших пробах доминировали коловратки *P. truncatum*, *B. hudsoni*, *A. priodonta*. Эти виды по основному составу потребляемой пищи являются зоофагами будучи по способу питания хватателями, а *Conochilus unicornis* – классический детрито-бактериофаг (микрофаг) благодаря вертификации – седиментации (и заглатывания) взвеси [Кутикова, 1970; Стойко и др., 2016]. Поэтому неудивительно накопление в особях этого вида темных комочков, очевидно, состоящих из непереваренных нефтепродуктов или детрита с тяжелыми фракциями нефтепродуктов, сохранившихся не только от настоящего, но и предыдущих загрязнений озера. Известно, что оз. Пясино подвержено хроническому стоку нефтепродуктов с водосбора [Иванов, Румянцева, 2011; см. также обзор М. И. Гладышева в настоящем спецвыпуске]. Полагаем, что наличие таких скоплений в теле свидетельствует о потреблении частиц нефтепродуктов коловратками не только через микро-

биальную петлю, но и напрямую в процессе осаждения мелкой взвеси (триптона). Заглатывание частичек нефти зоопланктерами отмечали и другие авторы [Perha, Arhonditsis, 2014].

Наличие в северной части оз. Пясино и вытекающей из него реки дафний (*D. longiremis*), как и в устье р. Амбарной (*D. galeata*), свидетельствует об отсутствии токсического влияния нефтяного загрязнения на эти экосистемы, поскольку дафнии первыми исчезают при нефтяном загрязнении арктических озер и не возвращаются в течение многих лет [Miller et al., 1978]. По сапробной классификации Сладечека [Sladec̆ek, 1973] северная часть оз. Пясино и р. Норильской в р-не аэропорта Валек являются олигосапробными, остальные – бета-мезосапробными водами. Очевидно, уменьшение индекса сапробности от речных станций Далдыкана и Амбарной к истоку р. Пясино из северной части озера отражает постепенное уменьшение органической нагрузки на воды от мест поступления нефтепродуктов до истока р. Пясино в результате физико-химических и биологических процессов самоочищения вод. Можно отметить, что в 2020 г. пределы изменений индекса сапробности по станциям исследования шире, чем в 1992 г. [Andreev et al., 2003], что неудивительно, учитывая дополнительную органическую нагрузку от разлива нефтепродуктов в 2020 г.

Полученная нами в 2020 г. средняя биомасса зоопланктона оз. Пясино (112,8 мг/м³) соизмерима с таковой (66,4 мг/м³) в 1992 г. [Andreev et al., 2003]. В 1992 г. обнаружено сходство зоопланктона восточно-южной части оз. Пясино и оз. Мелкого (истока р. Норильской) по доминированию *C. unicornis* и низким величинам биомассы [Andreev et al., 2003]. Сравнивая современный видовой состав и количество зоопланктона в оз. Пясино и других озерах Норило-Пясинской системы, например Лама и Собачье [Дубовская, Глущенко, 2018; Дубовская, 2020], отмечаем довольно уникальный коловраточный состав в первом за счет выраженного доминирования *P. truncatum* и *B. hudsoni* по сравнению со вторыми, где доминируют пелагические копеподы *Limnocalanus macrurus* Sars, *Cyclops lacustris* Sars, *Senecella siberica* Vyshkvartzeva и коловратки рода *Synchaeta* (*S. lakowitziana*, *S. grandis*), *Kellicottia longispina*, *A. priodonta*.

В связи с доминированием этих крупных копепод максимальные биомассы зоопланктона в озерах Лама и Собачье в 2014–2016 гг. (315–510 мг/м³ [Дубовская, Глущенко, 2018]) существенно выше, чем в оз. Пясино в 2020 г. (198,0 мг/м³). Эти различия могут быть связаны, кроме различий в уровне загрязнения, и с морфометрическими отличиями мелкого и широкого оз. Пясино от глубоких и узких озер Лама и Собачье. Тем не менее ранее Л. Н. Гордеева [1964] находила *B. hudsoni* во всех больших Норильских озерах, включая Лама и Собачье, этот вид развивался до биомассы 12 мг/м³ в пойменном озере низовья р. Хантайки [Dybovskaia et al., 2010], в Хантайских водохранилище и озере [Шевелева, 2006] и вместе с видами рода *Ploesoma* встречался в небольших гумифицированных озерах на торфяниках в окрестности г. Игарки [Korovchinsky, Dubovskaya, 2014]. Для выяснения закономерностей доминирования этих коловраток в оз. Пясино требуются дальнейшие мониторинговые исследования.

Основой кормовой базы взрослых рыб планктофагов являются ракообразные (клароцеры и копеподы), однако в связи с доминированием в озере коловраток продукция рачкового зоопланктона и соответствующая ей потенциальная продукция рыб оказались очень низкими. Даже с учетом коловраток суммарная рыбопродуктивность оз. Пясино по планктофагам чрезвычайно низка (0,85 кг/га) – в несколько раз ниже расчетного по биомассе зоопланктона вылова рыбы и других оценок рыбопродуктивности олиготрофного горного оз. Ойского [Zuev et al., 2012]. Разумеется, это очень ориентировочные оценки по одной съёмке зоопланктона, тем не менее, учитывая биомассы 1992 г. [Andreev et al., 2003], считаем, что проводить на оз. Пясино какие-либо рыболовные мероприятия при такой низкой кормовой базе нецелесообразно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В августе 2020 г., через два месяца после аварии на хранилище дизельного топлива в г. Норильске обнаружено угнетение зоопланктона на речных станциях, наиболее близких к источнику нефтепродуктов (руч. Безымянный, р. Далдыкан ниже впадения ручья, р. Амбарная ниже впадения Далдыкана) в виде

уменьшения видового богатства и численности по сравнению с фоновыми станциями. Однако отмечен и стимулирующий эффект органического вещества нефтепродуктов в р. Далдыкан ниже впадения руч. Безымянного в виде некоторой вспышки численности коловратки *Asplanchna priodonta* и в нижних участках р. Амбарной в виде “вспышки трофии” – увеличения видового богатства, численности и биомассы зоопланктона (до 272,7 мг/м³). На фоновых речных станциях видовое богатство, численность и биомасса зоопланктона были невелики (1–25 мг/м³), что характерно для быстротекущих водотоков. В оз. Пясино доминировали коловратки-хвататели (*Ploesoma truncatum*, *Bipalpus hudsoni*, *Asplanchna priodonta*) и седиментаторы (*Conochilus unicornis*), нахождение фильтраатора *Daphnia longiremis* в северной части озера (и *D. galeata* в устье р. Амбарной) указывает на отсутствие токсического влияния нефтяного загрязнения на эти экосистемы. Индекс сапробности зоопланктона свидетельствует о постепенном улучшении качества воды от речных станций Далдыкана и Амбарной (слабо загрязненные воды) к северной части оз. Пясино и истоку р. Пясины (условно чистые воды). Низкие численность и биомасса зоопланктона в озере (в среднем 43800 ± 17550 экз./м³, $112,8 \pm 26,2$ мг/м³ соответственно) обусловили низкие величины продукции зоопланктона и потенциальной продукции рыб-планктофагов (0,85 кг/га за сезон), в связи с чем проведение каких-либо рыбоводных мероприятий на озере представляется нецелесообразным.

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

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов А. Л. История изучения, морфометрия и гидрология озер / География озер Таймыра. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. С. 184–193.
- 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.
- Гордеева Л. Н. Зоопланктон Норильских озер // Вопросы гидробиологии водоемов Карелии: уч. зап. Карел. пед. ин-та. Биологические науки. 1963. Т. 15. Петрозаводск: Карел. кн. изд-во, 1964. С. 104–116.
- Грезе В. Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование // Изв. ВНИИ озерного и речного рыбного хоз-ва. Т. XLI. М.: Пищепромиздат, 1957. 236 с.
- Дубовская О. П. Не связанная с хищниками смертность планктонных ракообразных, ее возможные причины (обзор литературы) // Журн. общ. биологии. 2009. Т. 70, № 2. С. 168–192.
- Дубовская О. П. Жизненный цикл и таксономический статус *Senecella siberica* Vyshkvartzeva 1994 (Copepoda, Calanoida) в больших Норильских озерах (бассейн р. Пясины, Центральная Сибирь) // Зоол. журн. 2020. Т. 99, № 11. С. 1263–1267.
- Дубовская О. П., Глущенко Л. А. Первые находки *Senecella siberica* Vyshkvartzeva 1994 (Copepoda, Calanoida) в больших Норильских озерах (бассейн реки Пясины, Центральная Сибирь) // Зоол. журн. 2018. Т. 97, № 10. С. 1264–1271.
- Дубовская О. П., Гладышев М. И., Махутова О. Н. Сток лимнического зоопланктона через высоконапорную плотину и его судьба в реке с быстрым течением (на примере плотины Красноярской ГЭС на р. Енисей) // Журн. общ. биологии. 2004. Т. 65, № 1. С. 81–93.
- Захаров А. Б., Лоскутова О. А., Фефилова Е. Б., Хохлова Л. Г., Шубин Ю. П. Сообщества гидробионтов нефтезагрязненных акваторий бассейна р. Печора. Сыктывкар, 2011. 268 с.
- 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.
- Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского севера России. Сыктывкар, 2018. 152 с.
- Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1970. 744 с.
- 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.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолыхина. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Рамазанов М. М. Загрязнение рыбохозяйственных водоемов Красноярского края // Биологическая продуктивность водоемов Сибири. М.: Наука, 1969. С. 249–251.
- 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.
- Стойко Т. Г., Мазей Ю. А., Сенкевич В. А. Планктонные коловратки пензенских водоемов. Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. 166 с.
- Телеш И. В. Трансформация озерного зоопланктона в реках // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291, № 2. С. 495–498.
- Цееб Я. Я. Изменения гидробиологического режима рек, вызываемые созданием водохранилищ гидроэлектростанций (на примере днепровского каскада) // Проблемы гидробиологии и альгологии. Киев: Наук. думка, 1978. С. 73–85.

- Шевелева Н. Г. Разнообразие фауны планктона водоемов плато Путорана // Изучение и охрана животных сообществ плато Путорана (рабочая группа по Гусеобразным Северной Евразии. ГПЗ "Путоранский") / под ред. А. А. Романова. М., 2006. С. 239–251.
- Andreev V. P., Zhakovshchikova T. K., Ryabova V. N., Sorokoletova E. F., Sharygin A. A. Biological Analysis of Water Quality in the Noril'sko-Pyasinskaya System // Water Resources. 2003. Vol. 30, N 4. P. 427–433.
- 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.
- Davenport J. Oil and planktonic ecosystems // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 1982. Vol. 297. P. 369–384.
- Dubovskaya O. P., Kotov A. A., Korovchinsky N. M., Smirnov N. N., Sinev A. Y. Zooplankton of Lakes in the Spurs of the Putorana Plateau and Adjacent Territories (North of Krasnoyarsk Krai) // Contemporary Problems of Ecology. 2010. Vol. 3, N 4. P. 401–434.
- Fefilova E. B. The state of a river in Pechora Basin after an oil spill: assessment of changes in zooplankton community // Water Resources. 2011. Vol. 38, N 5. P. 637–649.
- Jernelov A. The threats from oil spills: now, then, and in the future // Ambio. 2010. Vol. 39. P. 353–366.
- Korovchinsky N. M., Dubovskaya O. P. New records of *Diphanosoma pseudodubium* Korovchinsky, 2000 (Crustacea: Cladocera: Sididae) from Eastern Siberia, with description of males of this species // Arthropoda Selecta. 2014. Vol. 23, N 4. P. 355–361.
- Miller M. C., Alexander V., Barsdate R. J. The effects of oil spills on phytoplankton in an arctic lake // Arctic. 1978. Vol. 31. P. 192–218.
- Perhar G., Arhonditsis G. B. Aquatic ecosystem dynamics following petroleum hydrocarbon perturbations: A review of the current state of knowledge // J. Great Lakes Res. 2014. Vol. 40, Suppl. 3. P. 56–72.
- Schartau A. K., Mariash H. L., Christoffersen K. S., Bogan D., Dubovskaya O. P., Fefilova E. B., Hayden B., Ingvason H. R., Ivanova E. A., Kononova O. N., Kravchuk E. S., Lento J., Majaneva M., Novichkova A., Rautio M., Rühländ K. M., Shaftel R., Smol J. P., Vrede T., Kahilainen K. K. First circumpolar assessment of Arctic freshwater phytoplankton and zooplankton diversity: spatial patterns and environmental drivers. Freshwater Biol. (в печати).
- Sladěček V. System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
- Tang K. W., Gladyshev M. I., Dubovskaya O. P., Kirillin G., Grossart H.-P. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments // J. Plankton Res. 2014. Vol. 36. P. 597–612.
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität. 1983. P. 128–173.
- Zuev I. V., Dubovskaya O. P., Ivanova E. A., Gluschenko L. A., Shulepina S. P., Ageev A. V. Evaluation of the potential fish productivity of Lake Oiskoe (Er-gaky Mountain range, West Sayan) basing on food supply // Contemporary Problems of Ecology. 2012. Vol. 5, N 4. P. 470–479.

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

O. P. DUBOVSKAYA^{1, 2}, O. E. YOLGINA¹, I. I. MOROZOVA²

¹*Institute of Biophysics of Federal Research Center
"Krasnoyarsk Science Center of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences"
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50
E-mail: dubovskaya@ibp.krasn.ru*

²*Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79*

The large Norilsk expedition of the SB RAS at the beginning of August, 2 months after the spill of 20 thousand tons of diesel fuel into the Bezymyanny stream, which took it out to the Daldykan and Ambarnaya rivers, took samples of net zooplankton at 13 stations, located in both sections of these rivers and Lake Pyasino with the outflow of the Pyasina River. Comparative analysis of the species composition, abundance, biomass and saprobity index of zooplankton at these stations has been carried out. The productions of rotifer and crustacean zooplankton and potential production of planktivorous fish in Lake Pyasino have been calculated. Based on the state of zooplankton, a gradual improvement in water quality has been observed from river areas exposed to the oil products to the northern part of the lake and the River Pyasina outflow. The low abundance and biomass of zooplankton in the lake (43800 ± 17550 ind./m³, 112.8 ± 26.2 mg/m³, on average) due to the dominance of rotifers (*Ploesoma truncatum* (Levander), *Bipalpus hudsoni* (Imhof), *Conochilus unicornis* Rousset) resulted in low values of zooplankton production and potential production of planktivorous fish (0.85 kg/ha per season).

Key words: zooplankton, Lake Pyasino, species composition, abundance, biomass, production, fish productivity, oil spills, water quality.