

## Биоиндикация и биотестирование

УДК. 574.633(470.111)

### ЗООИНДИКАЦИЯ ВОДОЕМОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Т. Г. Шихова<sup>1</sup>, А. Е. Скопин<sup>1,2</sup>, Р. Г. Большаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова, 610020, г. Киров, ул. Преображенская, 79, e-mail: biota.vniioz@mail.ru

<sup>2</sup>ООО "Эконорд", 166000, г. Нарьян-Мар, ул. Ленина, 37

Поступила в редакцию 23.01.2021

Приведены данные по изменению качества воды в пяти озерах и малом водотоке, расположенных на территории нефтяных месторождений в бассейне р. Печора (Ненецкий автономный округ). На основе биоиндикации по организмам зообентоса дана оценка состояния водных объектов на водосборе р. Колва и р. Лая по сборам 2012 и 2019 гг. Отмечено невысокое таксономическое разнообразие донных беспозвоночных – 5–20 таксонов ранга семейств и отрядов. В большинстве озер вода соответствует III классу качества ("умеренное загрязнение"), но в двух водных объектах фиксируется биогенное загрязнение. За рассмотренный период в озерах произошли несущественные таксономические перестройки. В целом состояние водных объектов сохраняет относительную стабильность.

*Ключевые слова:* зообентос, качество вод, тундровые озера, бассейн р. Колва, бассейн р. Лая.

DOI: 10.47021/0320-3557-2021-83-92

#### ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние водных экосистем печорского бассейна формируется под влиянием масштабного промысла и транспортировки углеводородного сырья. Интенсивное развитие нефтегазовой отрасли и аварийные ситуации на нефтепроводах провоцируют экологическую напряженность в этом регионе. Совокупное действие природных и антропогенных факторов влияет на качество поверхностных вод Большеземельской тундры, способствуя концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях рек и озер [Даувальтер, Кашулин, 2017 (Dauwalter, Kashulin, 2017)]. Освоение нефтегазовых месторождений сопровождается изменением физико-химических [Захаров и др., 2011 (Zakharov et al., 2011); Решетняк и др., 2019 (Reshetnyak et al., 2019); Bryzgalov, Ivanova, 2009] и биологических параметров водных объектов, вызывая структурные перестройки в сообществах гидробионтов [Скопин, 2012 (Scopin, 2012); Шихова, 2012 (Shikhova, 2012); Новоселов, Студенов, 2014 (Novosyolov, Studenov, 2014); Фролова, Ибрагимова, 2015 (Frolova, Ibragimova, 2015); Fefilova, 2011; Nazarova et al., 2017; Lapteva et al., 2019].

Ситуация усугубляется естественной повышенной уязвимостью к внешним воздействиям и замедленным восстановлением водных экосистем тундровой зоны [Израэль, 1999 (Israel, 1999); Bryzgalov et al., 2015]. Водосборные территории правобережных притоков Печоры – р. Уса (р. Колва) и р. Лая – входят в число опорных зон экологического мониторинга Российской Арктики [Брызгалов и др., 2018 (Bryzgalov et al., 2018)]. Длительное поступление углеводородных поллютантов и их накопление в донных отложениях актуализирует необходимость мониторинга качества вод в бассейнах этих рек. Цель исследования – уточнение влияния процесса нефтедобычи и транспортировки на состояние водоемов Большеземельской тундры. Комплексное использование различных показателей зообентосных сообществ в сочетании с методами, основанными на индикаторной значимости видов, позволяет достаточно объективно оценить биологическую полноценность водных экосистем.

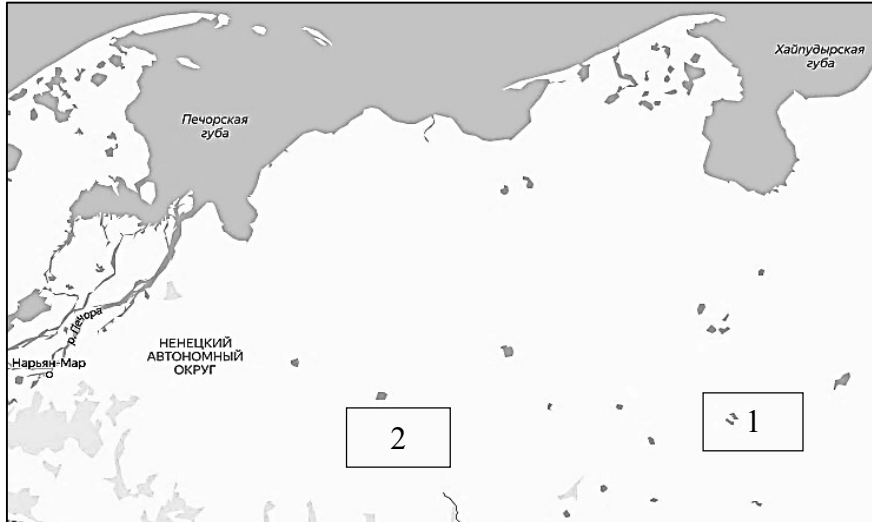
#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В составе комплексных экспедиций 2012 и 2019 гг. проведены основанные на зообентосных показателях биоиндикационные исследования водоемов Большеземельской тундры, расположенных в границах Колвинского, Средне-Харьягинского и Леххарьягинского месторождений Ненецкого автономного округа. В данной работе рассмотрены результаты

качественной оценки экологического состояния шести водных объектов. На водосборе среднего течения р. Колва – ледниково-аккумулятивные крупные и относительно глубокие (до 20 м) оз. Колваты (67°26'40" с.ш., 59°22' 49" в.д.) и оз. Нерчейты (67°25'52" с.ш., 59°27'22" в.д.), которые на мелководье имеют рыхлые песчано-галечные грунты с илом и

детритом. На водосборе р. Лая исследованы: термокарстовое гидрологически связанное с рекой оз. Круглое (67°35'00" с.ш., 56°16'30" в.д.), имеющее глубину <8 м и песчано-илистый грунт с детритом; очень мелководное оторфованное оз. Безымянное (67°24'55" с.ш.,

56°25'38" в.д.) с глубиной <1 м, песчаным грунтом и большим количеством органики; мелководное оз. Безымянное № 2 (67°22'39" с.ш., 56°35'41" в.д.) с глубиной <1,5 м и ручей Безымянный №3 (67°19'55" с.ш., 56°39'25" в.д.) – приток р. Лекхарьяга (рис. 1).



**Рис. 1.** Регион исследования и места отбора проб зообентоса: 1 – в бассейне р. Колва, 2 – в бассейне р. Лая.

**Fig. 1.** Region of study and sampling sites of zoobenthos: 1 – in the Kolva River basin, 2 – in the Laya River basin.

Отбор 28 количественных макро- и мей-озообентосных проб проведен в прибрежной зоне озер по стандартной методике [Мордухай-Болтовской, 1975 (Mordukhay-Boltovskoy, 1975)] водным сачком с площади 1 м<sup>2</sup> двукратно на каждом объекте в июле 2012 и 2019 гг. Для определения экологического состояния водных объектов применены стандартные методики биологического анализа вод [Руководство..., 1992 (Rukovodstvo..., 1992); Шитиков и др., 2005 (Shitikov et al., 2005)], согласно которым в качестве биоиндикационных критериев использованы основанные на количественных характеристиках отдельных групп, таксономическом составе и индикаторной значимости видов индексы: доминирования Бергера-Паркера (D, %), биоразнообразия Шеннона

(H', бит/экз.), биотический Вудивисса (W, баллы), сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека (S, баллы); хирономидный Балушкиной (K<sub>ch</sub>). Статистическая обработка данных проводилась с использованием компьютерных пакетов Excel 10 и Statistica 10. Итоговая оценка качества вод дана по совокупности гидробиологических показателей с учетом экологических и зоогеографических особенностей водного объекта. Класс качества воды устанавливался согласно рекомендациям ГОСТ 17.1.3.07-82. Таксономическая идентификация пресноводных беспозвоночных проведена по определителям [Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2010; 2016 (Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa..., 2010; 2016) и др.].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Достаточно надежными индикаторами долговременных процессов трансформации водоемов под влиянием освоения и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений служат рео- и лимнобионты. По мнению многих специалистов [Шитиков и др., 2005 (Shitikov et al., 2005); Rosenberg, 1993; Bakanov, 2004; Yakovlev, 2004 и др.], зообентос, как долгоживущий и стационарный компонент гидроценоза, наиболее четко отражает степень хронического загрязнения не только водной экосистемы, но и его водосборной территории. Однако влияние

нефтяных углеводородов на организмы зообентоса неоднозначно. По данным ряда исследований [Захаров и др., 2011 (Zakharov et al., 2011); Тарасова, Карыгина, 2014 (Tarasova, Karygina, 2014); Vinogradov et al., 2002; Fefilova et al., 2012], интенсивное загрязнение водной среды нефтяными углеводородами действует негативно на видовое разнообразие и количественные характеристики бентоса, а умеренное загрязнение может способствовать росту численности устойчивых к загрязнению организмов.

Биологическая индикация изменчивости водных экосистем эффективна применительно к водотокам. Стоячие водоемы теснее связаны с локальными загрязнениями, поэтому их сапробность в большей степени определяется внутренними продукционно-деструкционными процессами. В более устойчивых к внешним условиям крупных озерах показателем нарушений служат изменения таксономической структуры сообществ в их временных сукцессиях [Николаев, 1981 (Nikolaev, 1981)]. Применительно к тундровым озерам надежные критерии реакции донных сообществ на воздействие различных антропогенных факторов еще не разработаны. Состав зообентоса изменяется в широких пределах не только под влиянием антропогенного загрязнения, но и в ходе естественных (сукцессионных) процессов. Поэтому результаты вычисления средней сапробности озер оказались неоднозначны. В виду того, что для многих субарктических видов ракообразных печорского бассейна данные об индивидуальной сапробности отсутствуют, для расчета индекса Пантле-Букка (S) использован список видов-индикаторов сапротоксобиоты для водоемов и водотоков Кольского Севера [Яковлев, 1988 (Yakovlev, 1988)]. Во всех рассмотренных водных объектах сапробность (S=1.51–2.13) соответствовала умеренному загрязнению, но другие индикационные показатели диаметрально различались. Например, в оз. Колваты значения индексов Вудивисса и биоразнообразия соответствовали классу “загрязненные воды”, а хирономидного – “чистые”. Поэтому состояние водных объектов оценивалось по совокупности гидробиоло-

Таксономические группы зообентоса водных объектов

Taxonomic composition of zoobenthos of water bodies

Таксономические группы Taxonomic groups	Бассейн р. Колва Kolva River basin		Бассейн р. Лая / Laya River basin			
	оз. Колваты Kolvaty Lake	оз. Нерчей- ты Nercheity Lake	оз. Круглое Krugloe Lake	оз. Безы- мянное Bezymyan- noe Lake	оз. Безымян- ное № 2 Bezymyan- noe №2 Lake	руч. Безы- мянный №3 Bezymyannyi №3 Stream
<b>Gastrotrichi</b> n/det	–	–	–	1	–	–
<b>Rotifera</b>						
Synchaetidae	–	–	–	–	1	–
<b>Tardigrada</b> n/det	–	–	–	1	–	–
<b>Oligochaeta</b>						
Aeolosomatidae	–	1	1	1	–	–
Naidae	–	–	–	–	1	1
Enchytraeidae	–	–	–	–	1	–
Tubificidae	–	–	–	–	1	–
<b>Hirudinea</b>						
Erpobdellidae	–	–	–	1	1	–
Glossiphoniidae	1	–	1	1	1	–
<b>Mollusca</b>						
Unionidae	1	–	–	–	–	–

гических данных [Руководство..., 1992 (Rukovodstvo..., 1992); Шитиков и др., 2005 (Shitikov et al., 2005)].

Исследованные водные объекты печорского бассейна отличались низкими количественными и качественными показателями зообентоса, состав и структура которого за анализируемый период претерпели некоторые изменения.

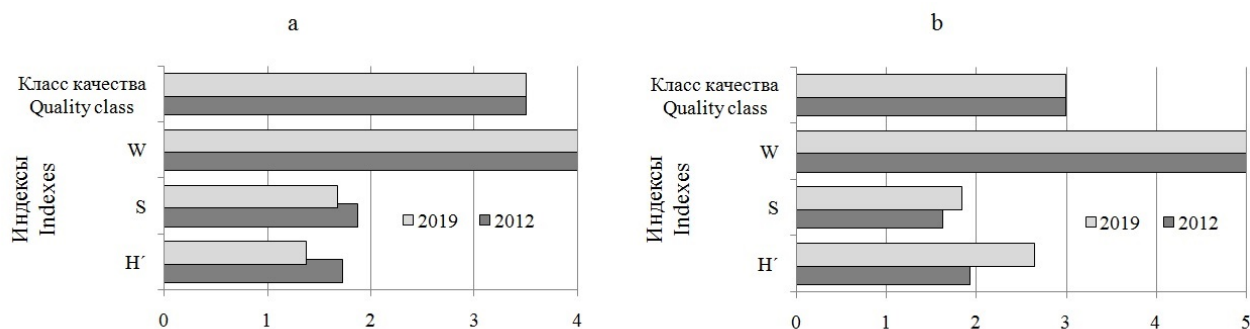
Обедненным видовым разнообразием ( $H' < 2$ ) отличается оз. Колваты, где за период исследования обнаружено 12 видов – представителей Hirudinea, Mollusca, Crustacea, Arachnoidea, Insecta (личинки ручейников и двукрылых) (см. таблицу). В 2012 г. в озере доминировала пиявка *Glossiphonia complanata* (D=56%) – индикатор загрязнения, встречались амфиподы (*Monoporeia affinis*), копеподы (*Mesocyclops leuckarti*, *Heterocope borealis*) и моллюски (*Euglesa subtruncata*). В 2019 г. В пробах отмечены только двустворчатые моллюски и хирономиды с доминированием  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроба *Psectrocladius psilopterus* (D=55%). Хирономиды подсем. Orthoclaadiinae относительно устойчивы к нефтяному загрязнению [Захаров и др., 2011 (Zakharov et al., 2011)]. Из-за отсутствия основных индикаторных видов, биотический индекс сохранился на уровне загрязненных вод, кроме того в 2019 г. не обнаружены представители рачкового комплекса и личинки ручейников. Снижение видового разнообразия в этом крупном озере, возможно, вызвано аномально холодными и дождливыми условиями лета 2019 г. Качество воды сохранилось на переходной степени загрязнения (III–IV класс).

Таксономические группы Taxonomic groups	Бассейн р. Колва Kolva River basin		Бассейн р. Лая / Laya River basin			
	оз. Колваты Kolvaty Lake	оз. Нерчейты Nercheity Lake	оз. Круглое Krugloe Lake	оз. Безымянное Bezumyan- ное Lake	оз. Безымянное №2 Bezumyanное №2 Lake	руч. Безымянный №3 Bezumyannyi №3 Stream
Sphaeriidae	2	1	–	1	1	–
Lymnaeidae	–	1	–	–	–	–
<b>Cladocera</b>						
Sididae	–	–	1	–	–	–
Bosminidae	–	1	1	–	–	–
Chydoridae	–	2	1	2	1	–
Daphniidae	–	–	–	2	3	1
Polyphemidae	–	–	–	–	1	–
<b>Copepoda</b>						
Temoridae	1	–	2	3	–	–
Cyclopidae	1	2	1	2	2	2
<b>Ostracoda n/det</b>	–	1	–	1	–	–
Cypridae	–	–	–	–	1	–
<b>Amphipoda</b>						
Pontoporeiidae	1	–	–	–	–	–
<b>Arachnidea</b>	–					
Hydrachnidia	–	1	2	–	–	–
<b>Ephemeroptera</b>						
Baetidae	–	–	–	1	1	–
<b>Coleoptera</b>						
Dytiscidae	–	–	1	1	–	–
Halplidae	–	–	–	–	1	–
<b>Megaloptera</b>						
Sialidae	–	–	–	–	–	1
<b>Trichoptera</b>						
Leptoceridae	1	–	–	–	1	–
Limnephilidae	–	–	1	–	1	–
<b>Diptera n/det</b>						
Chaoboridae	–	–	–	–	1	–
Chironomidae	3	7	2	1	1	4
Ceratopogonidae	1	–	–	2	1	–
Simuliidae	–	1	–	–	1	–
Количество видов Number of species	12	18	15	21	22	9
Количество семейств Number of families	9	10	11	15	20	5

Озеро Нерчейты характеризуется средним биоразнообразием ( $H'=1.9; 2.6$ ) – 18 таксонов 10 семейств. Видовое разнообразие в 2019 г. возросло, в тоже время повысилось и значение средней сапробности зообентосных организмов, изменился комплекс доминирующих видов. В 2019 г. по численности преобладали низшие ракообразные ( $D=47-51\%$ ), включая индикатора чистых вод ветвистоусого рачка *Eurycercus lamellatus*, а в 2012 г. – личинки хирономид *Ablabesmyia monilis* ( $D=44\%$ ) – показатели органического загрязнения. Chironomidae представлены преимущественно видами Chironominae (*Endochironomus tendens*, *E. impar*, *Dicrotendipes (E.) tritonus*, *Parachiro-*

*nomus pararostratus*) и  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробным видом Tanypodinae (*Ablabesmyia monilis*). Значение индекса Балушкиной ( $K_{ch}=6.73$ ) соответствовало "загрязненным" водам, а индексов Вудивисса ( $W=5$ ) и сапробности ( $S>1.5$ ) – "умеренно загрязненным".

В целом гидробиологические показатели водных объектов бассейна р. Колва в 2019 г. по сравнению с данными 2012 г. изменились незначительно, качество вод в оз. Нерчейты сохранилось III класса качества – "умеренно загрязненные", а в оз. Колваты – переходного III–IV класса – "умеренно-загрязненные – загрязненные" (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение значений биоиндикационных показателей в 2012, 2019 гг. в водоемах бассейна р. Колва: а – оз. Колваты, б – оз. Нерчейты.

**Fig. 2.** Changes in the values of bioindication indexes in 2012, 2019 in water bodies in the Kolva River basin: a – Kolvaty Lake, b – Nercheity Lake.

Биоиндикационные показатели расположенных на водосборе р. Лая озер – термокарстового оз. Круглое и очень мелководного торфяного оз. Безымянное – претерпели некоторые изменения, свидетельствующие об улучшении состояния этих водоемов. К наиболее характерным группам донных сообществ рассмотренных тундровых озер относятся низшие ракообразные (ветвистоусые, веслоногие, ракушко-вые) и хирономиды.

В мелководном оз. Круглое возросло видовое разнообразие ( $H' > 2$ ) с доминированием олиго-β-мезосапробных видов кладоцер ( $D=65\%$ ). Гидробионты представлены олигохетами, пиявками, ракообразными, личинками насекомых (поденок, ручейников, хирономид и др.) (см. таблицу). Из индикаторов чистой воды отмечены: ручейник *Limnephilus stigma*, рачки ветвистоусые *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Sida crystallina* и веслоногие *Cyclops scutifer*, *Heterocope appendiculata*. Хирономиды представлены β-мезосапробными видами Chironominae – *Endochironomus impar*, *Chironomus tentans*, *Paratanytarsus lauterborni*. По совокупности показателей вода в озере сохраняет степень “умеренно загрязненной”.

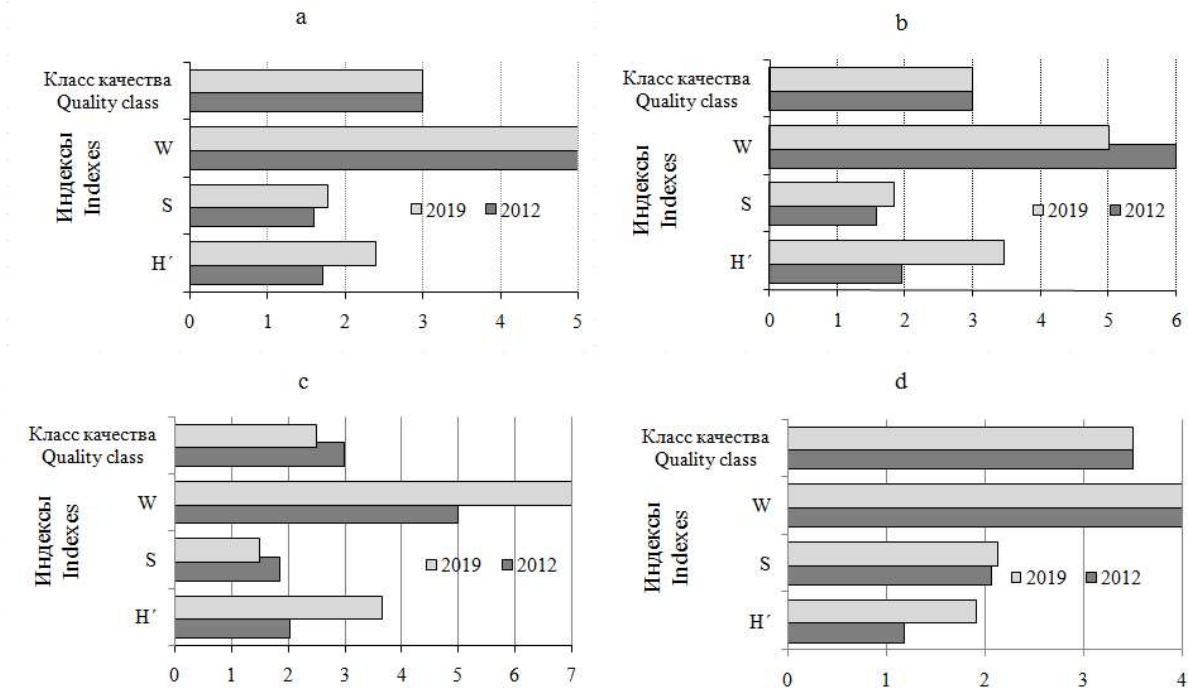
В зообентосе контрольного створа оз. Безымянное, расположенного вблизи нефтяных скважин Средне-Харьгинского месторождения, в 2019 г. существенно увеличилось биоразнообразие (с 1.9558 до 3.4656 бит/экз.). Таксономический состав включает 21 вид 15 семейств с доминированием циклопид – *Mesocyclops leuckarti*. Встречаются остракоды – индикаторы, реагирующие даже на слабое загрязнение водной среды. В тоже время повысилась средняя сапробность с закономерным снижением значения

биотического индекса в пределах β-мезосапробного уровня (рис. 3).

Из индикаторов чистых вод в обоих озерах встречаются о-β-мезосапробные виды Cladocera, а также веслоногие рачки холодных олиготрофных озер – *Heterocope appendiculata* и *Heterocope borealis*. В оз. Круглое отмечен ручейник *Limnephilus stigma*.

Принимая во внимание преобладание в обследованных водоемах олиго- и о-β-мезосапробных видов и отсутствие индикаторов сильного загрязнения (α-мезо- и полисапробов), вода озер по комплексу гидробиологических показателей оценивается как “умеренно загрязненная” (III класс).

Биоиндикационные показатели оз. Безымянное № 2 на территории Лекхарьягинского нефтяного месторождения отражают соответствие качества вод в 2019 г. о-β-мезосапробному уровню (рис. 3). Понижилась сапробность до  $S=1.51$ , а значение биотического индекса стало соответствовать “чистым водам”. Бентофауна представлена 22 видами (коловратки, олигохеты, пиявки, моллюски, ракообразные, личинки амфибионтных насекомых – поденок, жуков, ручейников, двукрылых) (табл.). Возросло биоразнообразие (с 2.0384 до 3.6606 бит/экз.), количество таксонов увеличилось с 7 до 17 с доминированием β-мезосапробных копепоид *Macrocyclops albidus* ( $D=41.7\%$ ). Однако, если в 2012 г. в рачковом комплексе по численности и разнообразию преобладали чувствительные к нефтяному загрязнению Cladocera, то в 2019 г. – Copepoda. Из индикаторов чистой воды отмечены коловратка *Polyarthra euryptera* и поденка *Centroptilum luteolum*. Качество воды в озере улучшилось до переходного II–III класса – “чистая–умеренно загрязненная”.



**Рис. 3.** Изменение значений биоиндикационных показателей в 2012, 2019 гг. в водоемах бассейна р. Лая: а – оз. Круглое, б – оз. Безымянное, с – оз. Безымянное № 2, d – ручей Безымянный № 3.

**Fig. 3.** Changes in the values of bioindication indexes in 2012, 2019 in water bodies in the Laya River basin: a – Krugloye Lake, b – Bezmyannoe Lake, c – Bezmyannoe № 2 Lake, d – Bezmyanny № 3 Stream.

По состоянию зообентосных сообществ явных последствий нефтяного загрязнения озер бассейна р. Лая не обнаружено, однако в ручье Безымянном № 3 сохраняется низкое качество воды. Несмотря на то, что в ручье видовое разнообразие донных гидробионтов возросло (с 1.175 до 1.910 бит/экз.) количественные показатели остались низкими (3.5 тыс. экз./м<sup>2</sup>). Зообентос представлен девятью видами пяти семейств – олигохеты, ветвистоусые и веслоногие рачки, личинки вислоккрылок и хирономид (см. таблицу). Доминируют хирономиды (D=74%). Качество воды водотока сохраняет промежуточное состояние – “умеренно загрязненная – загрязненная” (III–IV класс). Здесь отсутствует характерный для ручьев комплекс оксифильных видов (личинки ручейников, веснянок и др.) при доминировании хирономид загрязненных вод *Chironomus cingulatus* (α-р-сапробов).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидробиологические показатели рассмотренных тундровых озер печорского бассейна в границах нефтяных месторождений за 2012–2019 гг. существенных изменений не претерпели. Бентоценозы находятся в относительно стабильном состоянии. Наши результаты согласуются с данными других исследователей [Fefilova et al., 2012; Loskutova et al., 2015] об адаптационной устойчивости озерных

Эвтрофирование северных водоемов не всегда приводит к их деградации, особенно при умеренном загрязнении. На всех этапах сукцессии (от олиготрофного до эвтрофного) водная экосистема способна адаптироваться, изменяя структурно-функциональную организацию [Яковлев, 2005 (Yakovlev, 2005)]. В настоящее время зообентос озер, расположенных на территории нефтяных месторождений в бассейнах Колвы и Лайи, характеризуется невысоким, но относительно стабильным таксономическим разнообразием беспозвоночных – 9–20 таксонов ранга семейств и отрядов. Избыточное поступление нефтяных углеводородов приводит к повышению трофического статуса водоемов и изменению его таксономического состава с преобладанием устойчивых к загрязнению видов и выпадением чувствительных групп.

биоценозов при умеренном поступлении органических загрязнителей и возрастании разнообразия толерантных к загрязнителям донных организмов.

Состояние крупных озер в бассейне р. Колва за рассматриваемый период изменилось незначительно. Вода в оз. Нерчейты сохранилась на уровне III класса качества – “умеренно загрязненная” на фоне роста био-

разнообразия за счет увеличения качественного состава и численности хирономид. Вода оз. Колваты соответствует переходному классу качества III–IV (“умеренно-загрязненная–загрязненная”) со снижением видового разнообразия при выпадении низших ракообразных и ручейников.

Тундровым мелководным озерам свойственна естественная повышенная эвтрофность. В озерах бассейна р. Лая (оз. Безымянное, оз. Безымянное № 2) по численности и разнообразию стали преобладать более устойчивые к органическому загрязнению копеподы

при сокращении таксономического состава кладоцер, что свидетельствует об эвтрофировании этих водных объектов. Но по совокупности показателей вода озер Безымянное и Круглое сохраняет III класс качества “умеренно загрязненная”, а вода оз. Безымянное № 2 – улучшилась до II–III класса “чистая–умеренно загрязненная”. Низкое качество воды ручья Безымянного № 3 может быть вызвано не только антропогенными факторами, но и естественным фоном заболоченного водосбора. В целом состояние водных объектов сохраняет относительную стабильность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брызгалов В.А., Третьяков М.В., Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Реки опорных зон Российской Арктики и их современное состояние // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64, № 4. С. 365–379. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-4-365-379
- Восстановление экосистем малых озер / отв. ред. В.Г. Дробркова, М.Я. Прыткова, О.Ф. Якушко. СПб.: Наука. 1994. 143 с.
- Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Гидрохимия озер Большеземельской тундры // Метеорология и гидрология. 2017. № 8. С. 93–104.
- Захаров А.Б., Лоскутова О.А., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г., Шубин Ю.П. Сообщества гидробионтов нефтезагрязненных акваторий бассейна реки Печора. Сыктывкар. 2011. 268 с.
- Израэль Ю.А. Арктика и экологически устойчивое развитие // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия / Под ред. Ю.А. Израэля и др. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 1999. С. 7–16.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Особенности водных биогеоценозов и методы их изучения // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука. 1975. С. 5–11.
- Николаев И.И. Определение качества вод озер по гидробиологическим показателям // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеиздат. 1981. С. 43–58.
- Новоселов А.П., Студенов И.И. Динамика современного состояния сиговых рыб в бассейне р. Печора // Труды ВНИРО. 2014. Т. 151. С. 141–150.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.; СПб.: Товарищество науч. изданий КМК. 2010. 495 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос. М.; СПб.: Товарищество науч. изданий КМК. 2016. 457 с.
- Решетняк О.С. Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Решетняк В.Н. Тенденции изменчивости химического состава речных вод европейской части арктической зоны России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 1 (201). С. 86–94.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем / под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Скопин А.Е. Современное состояние ихтиофауны реки Колвы в районе Харьягинского нефтегазового месторождения (Ненецкий автономный округ) // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров. 2012. № 1. С. 464–465.
- Собко Е.И., Манасыпов Р.М., Забелина С.А., Чупаков А.В., Чупакова А.А., Шорина Н.В. Состав и структура зоопланктона термокарстовых озер Большеземельской тундры (Ненецкий автономный округ) // Труды ИБВВ РАН. 2017. Вып. 79(82). С. 214–217. DOI: 10.24411/0320-3557-2017-10051
- Тарасова О.Г., Карыгина Н.В. Зообентос русла Волги в условиях современного нефтяного загрязнения // Вестник Астраханского гос. тех. ун-та. Серия: Рыбное хозяйство. 2014. №3. С. 71–77.
- Фролова Л.А., Ибрагимова А.Г. Карцинологический анализ донных отложений озер Километровое и Котово Харьейской системы (Большеземельская тундра) // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015. № 5. С. 5–17. DOI: 10.17076/lm34
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. Кн. 1. М.: Наука. 2005. 280 с.
- Шихова Т.Г. Биоиндикация состояния нефтезагрязненных водоемов бассейна р. Колва // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: мат. IV Всерос. науч. конф. с междунар уч. Апатиты. 2012. С. 155–157.
- Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации). Апатиты, 1988. 27 с.
- Яковлев В.А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН. 2005. Ч. 2. 145 с.

- Bakanov A.I. Assessment of water and sediment quality in fresh water bodies based on characteristics of benthic communities // *Russian Journal of Ecology*. 2004. Vol. 35. № 6. P. 417–420. DOI: 10.1023/B:RUSE.0000046980.42702.af
- Bryzgalov V.A., Ivanova I.M. Anthropogenic transformations of the hydrological state of rivers in the Russian Arctic // *Water Resources*. 2009. Vol. 36. № 3. P. 261–272. DOI: 10.1134/S0097807809030026
- Bryzgalov V.A., Kondakova M.Y., Nikanorov A.M., Reshetnyak O.S. Pollutant transport in large rivers of the European north and Siberia // *Water Resources*. 2015. Vol. 42. № 3. P. 322–330. DOI: 10.1134/S0097807815010091
- 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, № 5. P. 637–649. DOI: 10.1134/S0097807811050058
- Fefilova E.B., Kononova O.N., Khokhlova L.G., Dubovskaya O.P. The Current State of Zooplankton in the Lake System of Bol'shezemel'skaya Tundra // *Inland Water Biology*. 2012. Vol. 5. № 4. P. 333–341. DOI: 10.1134/S1995082912040074
- 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. T. 46. № 5. P. 738–747. DOI: 10.1134/S0097807819050130
- Loskutova O.A., Zelentsov N.I., Shcherbina G.K. Fauna of chironomids (Diptera, Chironomidae) of the Kolva River (Pechora basin) in conditions of oil pollution // *Inland Water Biology*. 2015. T. 8. № 3. P. 276–286. DOI: 10.1134/S1995082915030104
- Nazarova L.B., Self A.E., Brooks S.J., Solovieva N., Strykh L.S., Dauvalter V.A. Chironomid fauna of the lakes from the Pechora River basin (East of European part of Russian Arctic): ecology and reconstruction of recent ecological changes in the region // *Contemporary Problems of Ecology*. 2017. Vol. 10. № 4. P. 350–362. DOI: 10.15372/SEJ20170403
- Rosenberg D.M. Freshwater biomonitoring and Chironomidae // *Neth. J. Aquat. Ecol.*, 1993. Vol. 26. № 2–4. P. 101–122.
- Vinogradov G.A., Berezina N.A., Lapteva N.A., Zharikov G.P. Use of structural characteristics of bacterio- and zoobenthos for assessing the quality of bottom deposits: case study of water bodies in the upper Volga basin // *Water Resources*. 2002. Vol. 29. № 3. P. 299–305. DOI: 10.1023/A:1015680329937
- Yakovlev V.A. Quality appraisal of surface waters on Fennoscandian territory // *Water Resources*. 2004. Vol. 31. № 3. P. 307–315. DOI: 10.1023/B:WARE.0000028701.88336.1a

## REFERENCES

- Bakanov A.I. Assessment of water and sediment quality in fresh water bodies based on characteristics of benthic communities. *Russian Journal of Ecology*, 2004, vol. 35, no. 6, pp. 417–420. doi: 10.1023/B:RUSE.0000046980.42702.af
- Bryzgalov V.A., Ivanova I.M. Anthropogenic transformations of the hydrological state of rivers in the Russian Arctic. *Water Resources*, 2009, vol. 36, no. 3, pp. 261–272. doi: 10.1134/S0097807809030026
- Bryzgalov V.A., Kondakova M.Y., Nikanorov A.M., Reshetnyak O.S. Pollutant transport in large rivers of the European north and Siberia. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 3, pp. 322–330. doi: 10.1134/S0097807815010091
- Bryzgalov V.A., Tretyakov M.V., Rummyantseva Ye.V., Shestakova Ye.N., Muzhdaba O.V. Reki opornykh zon Rossiyskoy Arktiki i ikh sovremennoye sostoyaniye [Rivers in the Russian Arctic support zones and their current status]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Arctic and Antarctic Research], 2018, vol. 64, no. 4, pp. 365–379. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-4-365-379
- Dauval'ter V.A., Kashulin N.A. Gidrokimiya ozer Bol'shezemel'skoy tundry [Hydrochemistry of Lakes in Bol'shezemel'skaya Tundra]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2017, no. 8, pp. 93–104. [In Russian]
- 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, no. 5, pp. 637–649. doi: 10.1134/S0097807811050058
- Fefilova E.B., Kononova O.N., Khokhlova L.G., Dubovskaya O.P. The Current State of Zooplankton in the Lake System of Bol'shezemel'skaya Tundra. *Inland Water Biology*. 2012, vol. 5, no. 4, pp. 333–341. doi: 10.1134/S1995082912040074
- Frolova L.A., Ibragimova A.G. Kartsinologicheskiy analiz donnykh otlozheniy ozer Kilometrovoye i Kotovo Kharbeykoy sistemy (Bol'shezemel'skaya tundra) [Cladocera remains from sediments of Kilometrovoe and Kotovo Lakes, Kharbey system (Bolshezemel'skaya tundra)]. *Tr. Karelskogo nauch. tsentra RAN*, 2015, no. 5, pp. 5–17. doi: 10.17076/lm34 [In Russian]
- Izrael' Yu.A. Arktika i ekologicheski ustoychivoye razvitiye [The Arctic and Environmentally Sustainable Development]. *Antropogennoye vozdeystviye na prirodu Severa i yego ekologicheskiye posledstviya* [Anthropogenic Impact on the Nature of the North and Its Environmental Consequences]. Apatity: Izd-vo KNTS RAN, 1999, pp. 7–16. [In Russian]
- 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, no. 5, pp. 738–747. doi: 10.1134/S0097807819050130
- Loskutova O.A., Zelentsov N.I., Shcherbina G.K. 2015. Fauna of chironomids (Diptera, Chironomidae) of the Kolva River (Pechora basin) in conditions of oil pollution. *Inland Water Biology*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 276–286. doi: 10.1134/S1995082915030104
- Mordukhay-Boltovskoy F.D. Osobennosti vodnykh biogeotsenozov i metody ikh izucheniya [Features of aquatic biogeocenoses and methods of their study]. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov*. M., Nauka, 1975, pp. 5–11. [In Russian]
- Nazarova L.B., Self A.E., Brooks S.J., Solovieva N., Strykh L.S., Dauvalter V.A. Chironomid fauna of the lakes from the Pechora River basin (East of European part of Russian Arctic): ecology and reconstruction of recent ecological changes in the region. *Contemporary Problems of Ecology*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 350–362. doi: 10.15372/SEJ20170403



- Nikolayev I.I. *Opredeleniye kachestva vod ozer po gidrobiologicheskim pokazatelyam* [Determination of the water quality of lakes by hydrobiological indicators]. *Nauchnyye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam*. L., Gidrometeoizdat, 1981, pp. 43–58. [In Russian]
- Novoselov A.P., Studenov I.I. *Dinamika sovremennogo sostoyaniya sigovykh ryb v bassejne r. Pechora* [Dynamics of the current state of whitefish in the basin of the Pechora]. *Trudy VNIRO*, 2014, vol. 151, pp. 141–150. [In Russian]
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Yevropeyskoy Rossii* [Keys to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in European Russia]. M.; SPb., Tova-rishchestvo nauch. izdaniy KMK, 2010, vol. 1. Zooplankton., 495 p. [In Russian]
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Yevropeyskoy Rossii* [Keys to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in European Russia]. M.; SPb., Tovarishchestvo nauch. izdaniy KMK, 2016, vol. 2. Zoobentos, 457 p. [In Russian]
- Reshetnyak O.S., Kondakova M.YU., Danilenko A.O., Kosmenko L.S., Reshetnyak V.N. *Tendentsii izmenchivosti khimicheskogo sostava rechnykh vod yevropeyskoy chasti arkticheskoy zony Rossii* [Trends in the chemical composition of river waters of the European part of the Arctic zone, Russian Federation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Yestestvennyye nauki*, 2019, no. 1 (201), pp. 86–94. [In Russian]
- Rosenberg D.M. *Freshwater biomonitoring and Chironomidae*. *Neth. J. Aquat. Ecol.*, 1993, vol. 26, no. 2–4, pp. 101–122.
- Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu poverkhnostnykh ekosistem* [Guidelines for hydrobiological monitoring of surface ecosystems]. SPb., Gidrometeoizdat, 1992, 318 p. [In Russian]
- Shikhova T.G. *Bioindikatsiya sostoyaniya neftezagryaznennykh vodoyemov basseyna r. Kolva* [Bioindication of the state of oil-contaminated water bodies of the Kolva River]. *Ekologicheskiye problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya: mat. IV Vseros. nauch. konf. s mezhdunar uch. Apatity*, 2012, pp. 155–157. [In Russian]
- Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya* [Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions]: v 2 kn. M., Nauka, 2005, kn. 1, 281 p. [In Russian]
- Scopin A.Ye. *Sovremennoye sostoyaniye ikhtiofauny reki Kolvy v rayone Khar'yaginskogo neftegazovogo mestorozhdeniya (Nenetskiy avtonomnyy okrug)* [The current state of the ichthyofauna of the Kolva River in the area of the Kharyaga oil and gas field (Nenets Autonomous Okrug)]. *Sovremennyye problemy prirodopol'zovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva*, 2012, no. 1, pp. 464–465. [In Russian]
- Sobko Ye.I., Manasypov R.M., Zabelina S.A., Chupakov A.V., Chupakova A.A., Shorina N.V. *Sostav i struktura zooplanktona termokarstovykh ozor Bol'shezemel'skoy tundry (Nenetskiy avtonomnyy okrug)* [Composition and structure of zooplankton in thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra (Nenets Autonomous Okrug)]. *Trudy IBVV RAN*, 2017, vol. 79(82), pp. 214–217. doi: 10.24411/0320-3557-2017-10051 [In Russian]
- Tarasova O.G., Karygina N.V. *Zoobentos rusla Volgi v usloviyakh sovremennogo neftyanogo zagryazneniya* [Zoobenthos of the native riverbed of the Volga River in the conditions of the present oil]. *Vestnik Astrkhanskogo gos. tekhn. un-ta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo* [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry]. 2014, no. 3, pp. 71–77. [In Russian]
- Vinogradov G.A., Berezina N.A., Lapteva N.A., Zharikov G.P. *Use of structural characteristics of bacterio- and zoobenthos for assessing the quality of bottom deposits: case study of water bodies in the upper Volga basin*. *Water Resources*, 2002, vol. 29, no. 3, pp. 299–305. doi: 10.1023/A:1015680329937
- Vosstanovleniye ekosistem malykh ozer* [Restoration of ecosystems of small lakes]. SPb., Nauka, 1994, 143 p. [In Russian]
- Yakovlev V.A. *Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod Kol'skogo Severa po gidrobiologicheskim pokazatelyam i dan-nym biotestirovaniya (prakticheskkiye rekomendatsii)* [Evaluation of the surface water quality of the Kola North by hydrobiological indicators and biotesting data (practical recommendations)]. Apatity, 1988, 27 p. [In Russian]
- Yakovlev V.A. *Quality appraisal of surface waters on Fennoscandian territory*. *Water Resources*, 2004, vol. 31, no. 3, pp. 307–315. doi: 10.1023/B:WARE.0000028701.88336.1a
- Yakovlev V.A. *Presnovodnyy zoobentos severnoy Fennoskandii (raznoobraziye, struktura i antropogennaya di-namika)* [Freshwater zoobenthos of northern Fennoscandia (diversity, structure and anthropogenic dynamics)]. Apatity, Izd. Kol'skogo NTS RAN, 2005, kn. 2, 145 p. [In Russian]
- Zakharov A.B., Loskutova O.A., Fefilova Ye.B., Khokhlova L.G., Shubin Yu.P. *Soobshchestva gidrobiontov neftezagryaznennykh akvatoriy basseyna reki Pechora* [Communities of hydrobionts of oil-polluted waters of the Pechora River basin]. Syktyvkar, 2011, 268 p. [In Russian]

## ZOOINDICATION OF WATER BODIES WITHIN PETROLEUM INDUSTRIAL TERRITORIES OF THE BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA

T. G. Shikhova<sup>1</sup>, A. E. Scopin<sup>1,2</sup>, R. G. Bolshakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming,  
610020, Kirov, 79 Preobrazhenskaya St., e-mail: biota.vniioz@mail.ru

<sup>2</sup>ООО "Econord", 166000, Naryan-Mar, 37 Lenin St.

Intensive development of the oil and gas industry and accidents on oil pipelines become the reason of the environmental tension in the Pechora River basin (Nenets Autonomous District). Data on changes in water quality in five lakes and a small watercourse in the territory of oil fields of the Bolshezemelskaya tundra are presented. The bioindication indices (Berger-Parker (D), Shannon biodiversity (H'), Woodiwiss (W), Pantle-Buck (S), Ba-

lushkina ( $K_{ch}$ ) were applied. The assessment of the state of water bodies in the Kolva River Basin (large lakes - Kolvaty and Nercheity), in the Laya River Basin (shallow lakes - Krugloye, Bezmyanno 1, Bezmyanno 2, stream) was done. The 28 samples of zoobenthos was processed by the standard method in July 2012 and 2019. A low diversity of benthic invertebrates was revealed for 5–20 taxa of the rank of families and orders. During the considered period, the changes have occurred in the structure and composition of the zoobenthos of water bodies. In 2019, the species diversity decreased in Kolvaty Lake ( $H' < 2$ ). There are no species of the crustacean complex (*Monoporeia affinis*, *Mesocyclops leuckarti*, *Heterocope borealis*) and larvae of Trichoptera. Only Sphaeriidae and Chironomidae with a predominance of *Psectrocladius psilopterus* ( $D = 55\%$ ) were recorded. The species diversity in Nercheity Lake increased ( $H' > 2$ ) with a change in the dominant taxa: the larvae of the chironomids *Ablabesmyia monilis* ( $D = 44\%$ ) were found in 2012, the lower crustaceans ( $D = 47\text{--}51\%$ ) - in 2019. However, according to the totality of hydrobiological indicators, the quality of water in the lakes of the Kolva River Basin in 2019 compared to 2012 did not change significantly. The quality of water in the Krugloye and Bezmyanno 1, Bezmyanno 2 lakes (the Laya River Basin) has improved that is confirmed by a significant increase of species diversity. The most characteristic groups of benthic communities in these lakes are lower crustaceans (Cladocera, Copepoda, Ostracoda) and Chironomidae. The indicators of clean waters are  $\alpha$ - $\beta$ -mesosaprobic species Cladocera, Copepoda *Heterocope appendiculata*, *Heterocope borealis* (in the oligotrophic lakes), caddisfly *Limnephilus stigma* (in the Krugloe Lake), rotifer *Polyarthra euryptera* (in the Bezmyanno 2 Lake), mayfly larvae *Centroptilum luteolum*. More resistant to organic pollution Copepoda began to prevail in abundance and diversity in Bezmyanno 1 and Bezmyanno 2 lakes, with a decrease in the taxonomic composition of Cladocera, which indicates the eutrophication of these water bodies. In most lakes, the water corresponds to the III quality class ("moderate pollution"), but in the Kolvaty lake and in the Bezmyanno stream (the Laya River basin) was recorded the biogenic pollution. Totally, insignificant taxonomic changes in zoobenthos structure took place in the lakes and the state of water bodies of the surveyed tundra remains relatively stable.

*Keywords:* zoobenthos, water quality, tundra lakes, Kolva River, Laya River